



UNIVERSITÀ DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA

IMPIANTI INDUSTRIALI MECCANICI. GLI IMPIANTI DI SERVIZIO

Vol. 2

- 3. SERVIZI AZIENDALI
 - 3.1 PIPING
 - 3.2 DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA INDUSTRIALE
 - 3.3 IMPIANTI TERMICI
 - 3.4 CAPTAZIONE DELLE POLVERI
 - 3.5 ATTIVITÀ DI PROTEZIONE E PREVENZIONE ANTINCENDIO
 - 3.6 LA MANUTENZIONE DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI

Lorenzo Rosa

Anno Accademico 2005-2006

3. SERVIZI AZIENDALI

3. SERVIZI AZIENDALI.

La raccolta di tutta la documentazione relativa agli adempimenti tecnico-amministrativi è da considerarsi un'attività propedeutica che consente di pianificare in modo organico le successive fasi di lavoro. La disponibilità della documentazione durante la fase di organizzazione dei sopralluoghi, consente di gestire le risorse in rapporto alle dimensioni ed alla complessità dell'azienda.

In particolare, per una ricerca ordinata della documentazione tecnico-amministrativa è composta un'apposita check list in cui sono elencati tutti i documenti obbligatori e necessari per una corretta gestione della sicurezza:

- Documento di valutazione dei rischi
- Conformità impianti elettrici alla Legge. 46/90
- Denunce di impianti di messa a terra
- Denunce impianti protezione scariche atmosferiche
- Registro rifiuti (carico e scarico)
- Nulla osta tecnico-sanitari
- Verifica livelli di rumorosità ambientale (D.Lgs. 277/91)
- Registro infortuni,
- Certificati di prevenzione incendi,
- Certificati di destinazioni d'uso
- Denunce annuali smaltimento rifiuti (M.U.D.)
- Contratti con ditte autorizzate allo smaltimento dei rifiuti
- Autorizzazioni all'esercizio approvvigionamenti idrici
- Autorizzazioni per l'utilizzo di locali seminterrati come luogo di lavoro; (deroga, art.8 D.P.R. 303/56)
- Contratti di verifica periodica estintori e dispositivi antincendio;
- Verifiche periodiche mezzi di movimentazione (ascensori, montacarichi, apparecchi di sollevamento, ecc.)
- Libretti di manutenzione delle caldaie;
- Autorizzazioni alle emissioni in atmosfera;
- Autorizzazioni agli scarichi idrici;
- Planimetrie dei luoghi di lavoro.

3.0. VALUTAZIONE DEI RISCHI

Per la valutazione dei rischi e la successiva stesura del documento finale ci si avvale dei criteri e metodologie seguenti. La rilevazione dei pericoli e delle situazioni di rischio verrà effettuata con riferimento a “**gruppi omogenei di lavoratori**”. Per ognuno dei suddetti gruppi omogenei, ai fini della valutazione dei rischi, devono essere identificati:

- il numero dei lavoratori coinvolti nei diversi gruppi omogenei,
- i luoghi di lavoro frequentati,
- le attrezzature utilizzate,
- le mansioni/operazioni elementari / fasi di lavoro ecc.
- i tempi e l'organizzazione di lavoro.

Per l'individuazione dei rischi saranno eseguiti **sopralluoghi presso tutti gli ambienti di lavoro** con l'ausilio di **questionari (check list)** costruiti sulla base della **legislazione vigente** e delle **norme di buona tecnica**.

3. SERVIZI AZIENDALI

L'analisi dei rischi per l'individuazione delle conseguenti **misure di prevenzione e protezione** da attuare è suddivisa nelle seguenti tipologie:

- analisi dei rischi legati ad attività svolte in ambienti chiusi;
- analisi dei rischi relativi all'utilizzo di macchine e attrezzature;
- analisi dei rischi relativi alle caratteristiche dell'ambiente ove si svolgono le attività esterne.

3.1. IMPIANTI DI DISTRIBUZIONE DEI FLUIDI (PIPING)

3.1.1. Tubazioni

Le tubazioni sono condotte costituite da tubi, giunti ed altri elementi interposti. In generale, i tubi sono metallici di acciaio, ma se ne usano anche di non metallici, principalmente di materiale plastico. Essi devono resistere alla pressione interna del fluido contenuto, alla corrosione ed alle sollecitazioni termiche e meccaniche associate all'esercizio.

La produzione di tubi di largo impiego è regolata da norme, quelle UNI italiane, le DIN tedesche, le americane ASTM, ecc.

Le norme UNI prevedono le seguenti definizioni e prescrizioni, valide per tutti i componenti delle tubazioni:

- il **diametro nominale DN** è un'indicazione convenzionale che serve da riferimento univoco per individuare la grandezza dei diversi elementi accoppiabili in una tubazione (tubi, flangie, raccordi, valvole, ecc.). Il DN rappresenta all'incirca la dimensione in mm del diametro interno dell'elemento di tubazione. Così, DN50 designa una tubazione i cui elementi hanno lo stesso diametro nominale, tubo DN50, valvola DN50, ecc. La serie dei diametri nominali, secondo UNI1282 ed aggiornamenti è:

1 - 1.5 - 2 - 2.5 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 15 - 20 - 25 - 32 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80 - 100 - 125 - 150 - 200, ecc.

In questo modo, si cerca di seguire la serie di Renard, con ragione 1.25 (radice 10^a di 10). I tubi Gas sono espressi in pollici.

In tab. 3.I è riportato un estratto del catalogo della produzione DALMINE, raggiungibile al sito: <http://www.tenaris.com/it/dalmine/default.asp>.

- La **pressione nominale PN** esprime convenzionalmente la pressione massima di esercizio, in bar. In base ad essa, vengono calcolati gli elementi della tubazione, tenendo conto delle specifiche condizioni di esercizio. Così, PN40 indica che il fluido nella condotta può assumere la pressione massima di 40bar in condizioni normali di esercizio. Tale pressione massima deve essere ridotta all'80% (1/1.25), quando il fluido si trova a temperature tra 120 e 300C o quando è chimicamente pericoloso, deve essere ridotta al 64% (1/1.6) con temperature nel campo tra 300 e 400C e per fluidi pericolosi a temperature superiori a 120C.

La serie delle pressioni nominali segue la tabella UNI1283, ed approssimativamente la serie di Renard con ragione 1.6 (radice 5^a di 10):

1 - 2.5 - 4 - 6 - 10 - 16 - 25 - 40 - 64 - 100 - 160, ecc.

Le canalizzazioni devono essere sottoposte a prova idraulica a pressione superiore a quella nominale.

La seguente formula può essere usata per una prima approssimazione al calcolo del diametro del tubo:

$$d_i = 18.8 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (3.1)$$

dove: v è la velocità del flusso in m/s (individuata in accordo con l'uso previsto della condotta e secondo le indicazioni di tab. 3.I), d_i è il diametro interno del tubo in mm, Q la portata in m³/h, e generalmente la velocità massima viene scelta nei campi di tab. 3.I.

È evidente che la (3.1) è valida per le particolari unità scelte, è quindi naturale che il fattore moltiplicativo della radice debba essere cambiato a seconda dell'unità.

Il diametro del tubo ora indicato non tiene conto delle perdite di carico presenti nell'installazione. Queste richiedono un ulteriore calcolo, per i quali sono largamente diffuse informazioni e raccomandazioni.

tab. 3.I. Campi di velocità nelle condotte, in m/s.

liquidi		gas
in aspirazione	in pressione	
0.5 – 1.0	1.0 – 3.0	10 - 30

Sicuramente sappiamo che, quando si calcolano le perdite di carico in un tubo rettilineo, si deve tener presente il regime idraulico effettivamente presente, se laminare o turbolento, e che la misura del regime è data dal numero di Reynold, il cui valore di distinzione è indicato intorno a 2.000. In pratica, il flusso laminare si verifica particolarmente nel trasporto di fluidi viscosi, mentre nella maggioranza delle applicazioni si ha un regime turbolento, che presenta un profilo delle velocità nella sezione retta molto più piatto, in confronto al regime laminare. La perdita di carico in un tubo rettilineo è data da:

$$\Delta p_R = \lambda \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2 \cdot 10^2} \cdot v^2 \quad (3.2)$$

dove:

Δp_R è la perdita di carico della lunghezza rettilinea L di tubo, in bar,

λ il fattore di attrito,

L la lunghezza rettilinea di tubo, in m,

d_i il diametro interno del tubo, in mm,

ρ la densità del fluido, in kg/m^3 ,

v la velocità del fluido, in m/s.

Nella pratica, quando si esegue un calcolo grossolano, ad esempio su un tubo di materiale plastico in regime turbolento, è sufficiente usare $\lambda = 0.02$, per rappresentare le perdite di carico idrauliche continue. Se, invece si ha la necessità di eseguire un calcolo rigoroso, bisogna riferirsi al diagramma di Moody.

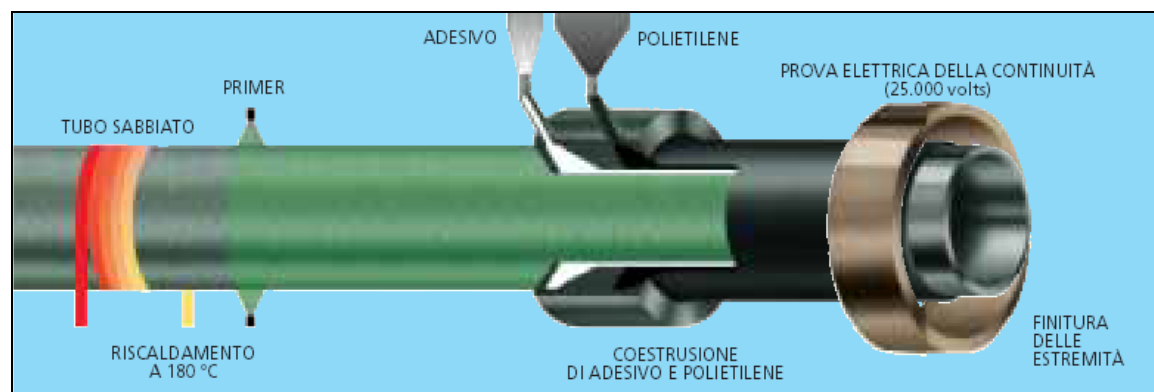


fig. 3.1. Struttura di un tubo di acciaio di tab. 3.I, protetto all'esterno e l'interno.

tab. 3.II. Caratteristiche dei tubi di acciaio al carbonio commerciali, lisci, trafilati a caldo, senza saldatura e saldati, per condotte d'acqua, rivestiti. Costr. DAL-MINE, secondo EN 10224

TIPO	NUMERO	CARATT. MECCANICHE (min)				COMPOSIZIONE (max)				
		ROTT MPa	SNERV MPa	ALLUNG		C	Mn	Si	P	S
				L%	T%					
L235	0252	360÷500	235	25	23	0.16	1.20	0.35	0.030	0.025
L275	0260	430÷570	275	21	19	0.20	1.40	0.40	0.030	0.025
L355	0419	500÷650	355	21	19	0.22	1.60	0.55	0.030	0.025

DIAMETRO NOMINALE		DIAMETRO ESTERNO		SPESSORE		MASSA LINEARE (kg/m)	
mm				TUBO GREZZO		RIVESTITO est. Polietilene int. Epossidico	
40	48.3	2.6	2.6	2.93	2.93	3.23	3.23
50	60.3	2.9	2.9	4.11	4.11	4.48	4.48
65	76.1	2.9	2.9	5.24	5.24	5.71	5.71
80	88.9	3.2	3.2	6.76	6.76	7.39	7.39
100	114.3	3.2	4.0	8.77	10.9	9.58	11.7
125	139.7	3.6	4.5	12.1	15.0	13.1	16.0
150	168.3	4.0	4.5	16.2	18.2	17.4	19.4
200	219.1	5.0	5.9	26.4	31.0	28.0	32.6
250	273.0		6.3		41.4		43.4
300	323.9		8.4		65.4		67.8
350	355.6		8.0		68.6		71.3
400	406.4		8.5		83.4		86.5
450	457		8.5		94.0		97.5
500	508		8.8		108		112
600	610		9.5		141		146
700	711		10.3		178		184
	TUBI SALDATI			TUBI SENZA SALDATURA			

TOLLERANZE				
DIAMETRO ESTERNO		SPESSORE		RETTILINEARITÀ
senza saldatura	saldati	senza salda- tura	saldati	
± 1% oppure ± 0.5mm. Il valore maggiore	± 1% per De<219.1, oppure ± 0.5mm Il valore maggiore ± 0.75% per De>219.1	± 10% oppure ± 0.3mm Il valore mag- giore	± 12.5% per De<219.1, oppure ± 0.4mm Il valore maggiore ± 20% per De>219.1 ± 15% per De>323.9	0.2%, sull'intera lun- ghezza del tubo

Il tipo di tubo più adatto al trasporto di uno specifico fluido è scelto in base ai seguenti fattori:

Materiale. Si costruiscono tubi di acciaio, plastica, rame, piombo, raramente di ghisa. Tra l'altro, la scelta del materiale va fatta tenendo conto delle caratteristiche chimico-

3. SERVIZI AZIENDALI

fisiche del fluido da trasportare (aggressività, temperatura e pressione, ecc.), nonché delle condizioni ambientali in cui le tubazioni saranno durante l'esercizio, di nuovo aggressività, temperatura e pressione, ecc.

Tipo costruttivo. I tubi possono essere prodotti con o senza saldatura, lisci o filettati, con o senza rivestimento protettivo, ecc, come visto in tab. 3.II. La scelta viene ancora effettuata in base alla natura del fluido ed, inoltre, alla sua portata, alla pressione di esercizio, alle modalità di installazione del tubo (interrato, aereo all'interno od all'esterno dei fabbricati, ecc. Scelto il materiale ed il tipo costruttivo adatti, si determinano il diametro e lo spessore del tubo. Lo spessore minimo dei tubi metallici soggetti a sovrappressione interna si può determinare secondo UNI1285/68):

$$s = \frac{PN \cdot d \cdot k}{200 \cdot R} + c \quad (3.3)$$

dove è:

s lo spessore, in mm,

PN la pressione nominale, in bar,

d il diametro interno, in mm,

k un coefficiente di sicurezza,

R il carico di rottura del materiale, in bar,

c un parametro che tiene conto della intensità prevista della corrosione o di difetti di lavorazione.

Questa espressione vale fino a $PN = 16.5 R/k$. Per pressioni più elevate, le norme prescrivono un calcolo diverso.

3.1.1.1. Tubi di Acciaio

Sono quelli più impiegati in ambito industriale e si suddividono in 4 Classi:

Commerciali. Sono tubi filettati e lisci di produzione corrente, di acciaio non legato di tipo **Fe** e sottoposti a modeste sovrappressioni. Le caratteristiche metallurgiche e geometriche sono riportate in tab. 3.II.

I tubi filettati di questa Classe sono detti anche *Gas* ed hanno solitamente la filettatura conica. Convenzionalmente, anziché al diametro nominale DN, in questo caso ci si riferisce al diametro interno, espresso in pollici, come elencato in tab. 3.III.

Per convogliare fluidi alterabili, come l'acqua potabile, si utilizzano tubi zincati o protetti con rivestimenti di plastica, come visto in tab. 3.I ed ora in fig. I tubi lisci di questa categoria sono utilizzati per fluidi con parametri inferiori a 225C e PN25 (aria compressa, acqua, ecc.).

Tubi di classe normale per impieghi Idraulici. Essi sono fabbricati con acciaio avente caratteristiche controllate e sono sottoposti a prove meccaniche e tecnologiche, ed a pressioni di prova elevate. Questi tubi sono adatti ad impieghi di importanza superiore a quelli commerciali visti sopra, ad esempio per condotte destinati a fluidi a temperatura inferiore a 400C e pressioni nominali inferiori a 25bar.

Tubi di classe normale per impieghi Meccanici. Come detto sopra, per questi tubi, non esiste solo l'impiego di convogliamento, ma essi possono assumere anche una funzione meccanica. Si tratta di tubi senza saldatura, laminati, cosiddetti *per impieghi meccanici*, in quanto trovano applicazione nella Meccanica e nella Costruzione di Macchine. Essi sono costruiti conformemente alla Norma EN 10297-1, che ha sostituito la precedente EN 10297.

tuito le differenti norme nazionali. I prodotti descritti da tali norme trovano applicazione nei settori individuati dalla “Direttiva Macchine 98/37/EC”.

tab. 3.III. Tubi Gas, di acciaio Commerciali, filettati con manicotto. Prod. DALMINE, secondo UNI7684.

Dimensioni del tubo				Massa lineare kg/m	Dimensioni del manicotto, mm	
Diametro nominale, G"	Diametro esterno, mm		Spessore, mm		Diametro, max	Lunghezza min
	max	min				
1/2	21.7	21.0	2.35	1.19	25	45
3/4	27.1	26.4	2.35	1.50	32	45
1	34.0	33.2	2.90	2.33	39	60
1 1/4	42.7	41.9	2.90	3.45	54	60
1 1/2	48.6	47.8	2.90	3.45	54	60
2	60.7	59.6	3.25	4.83	66	60
2 1/2	76.3	75.2	3.25	6.15	82	70
3	89.4	87.9	3.65	8.15	95	70

tab. 3.IV. Norme di riferimento e Gradi di Acciaio.

Norma ASTM	NORMA ASME SA	Grado di acciaio
A 179	179 Sez. II	LOW CARBON
A 106	106 Sez. II	Gr. A – B – C
A 192	192 Sez. II	LOW CARBON
A 209	209 Sez. II	Gr. T1 – T1a – T1b
A 210	210 Sez. II	Gr. A1 – C
A 213	213 Sez. II	Gr. T2 – T5 – T9 – T11 – T12 – T22
A 333	333 Sez. II	Gr. 1 – 3 – 6
A 334	334 Sez. II	Gr. 1 – 3 – 6
A 335	335 Sez. II	Gr. P1 – P2 – P5 – P9 – P11 – P12 – P22
A 556	556 Sez. II	Gr. A2 – B2 – C2
JIS G 3461		STB 340 – STB 410 – STB 510
JIS G 3462		STBA 12 – STBA 13 – STBA 20 – STBA 22 – STBA 23 – STBA 24 – STBA 25 – STBA 26

tab. 3.V. Tubi di classe superiore. Condizioni di fornitura.

E 235	impieghi meccanici
E 355	impieghi meccanici
E 355 K2	impieghi meccanici, con capacità garantita
E 470, E 420J2, E 590K2	impieghi meccanici ad alto snervamento
E 730K2	bonificato con ottime caratteristiche tensili, $C \leq 0.20\%$
30CrMo4	da bonifica
42CrMo4	da bonifica
16MnCrS5	da cementazione risolforato

3. SERVIZI AZIENDALI

tab. 3.VI. Tubi di classe superiore (per scambiatori di calore e caldaie). Abaco parziale spessore-diametro dei tubi senza saldatura trafilati a freddo diritti, Costr. DALMINE, secondo UNI EN 10204

De	spessore medio, mm																			
	1.24	1.50	1.65	1.82	2.00	2.11	2.20	2.32	2.42	2.64	2.77	2.90	3.05	3.20	3.40	3.52	3.74	3.85	4.19	4.40
12.7																				
14																				
15.88																				
16																				
17																				
19.05																				
20																				
21.3																				
22.22																				
25																				
25.4																				
26.9																				
30																				
31.75																				
33.7																				
34.93																				
38.1																				
41.28																				
44.45																				
47.63																				
48.3																				
50.8																				
53.98																				
57																				
57.15																				
60.33																				
63.5																				
69.85																				
70																				
76.2																				
82.55																				
88.9																				
95.25																				
101.60																				
107.95																				
114.30																				
120.65																				
	1.24	1.50	1.65	1.82	2.00	2.11	2.20	2.32	2.42	2.64	2.77	2.90	3.05	3.20	3.40	3.52	3.74	3.85	4.19	4.40
	TUBI SALDATI							TUBI SENZA SALDATURA												

Tubi di classe superiore. Essi sono fabbricati con acciaio avente caratteristiche controllate e sono sottoposti a prove meccaniche e tecnologiche, ed a pressioni di prova elevate. Questi tubi sono adatti ad impieghi di maggiore importanza rispetto a quelli di classe normale visti sopra, e devono essere assoggettati anche a prove tecnologiche particolari, ad esempio di allargamento, bordatura e schiacciamento. Il

che particolari, ad esempio di allargamento, bordatura e schiacciamento. Il loro impiego è caratterizzato da sollecitazioni molto elevate.

tab. 3.VII. Tubi di classe superiore (per scambiatori di calore e caldaie). Esempi di corrispondenza tra le Norme Europee EN, il Grado di Acciaio ed alcune norme nazionali abrogate od ancora in vigore.

NORMA EN 10216	grado acciaio	NORMA UNI/DIN	grado acciaio	NORMA BS	grado acciaio	NORMA UNI	grado acciaio
1	P195TR1						
1	P195TR2						
1	P235TR1	663	Fe35.1 – Fe35.2				
1	P235TR2						
1	P235TR1	663	Fe45.1 – Fe45.2				
1	P235TR2						
2	P195GH			3606	320		
2	P235GH	17175	St35.8			5462	C14
2	P235GH	17175	St45.8			5462	C18
2	20MnNb6						
2	16Mo3	17175	15Mo3			5462	16Mo5
2	8MoB54						
2	14MoV63						
2	10CrMo55			3606	621		
2	13CrMo45	17175	13CrMo44	3606	620	5462	14CrMo3
2	10CrMo910	17175	10CrMo910	3606	622	5462	12Mo910

tab. 3.VIII. Tubi di classe superiore (per scambiatori di calore e caldaie). Corrispondenza tra i Gradi di Acciaio EN10297-1 e delle Norme Nazionali.

	EN 10297.1	UNI	DIN	AFNOR	fornitura
applicazioni meccaniche	E 235	7729 Fe 360	1629 St 37.0	NF A 49311 TU 37b	grezzo
	E 275		1629 St 41.0		
	E 315				
	E 355	7729 Fe 510	1629 St 52.0	NF A 49311 TU 52b	
	E 470				
	E 275 K2				normalizzato
	E 355 K2				
	E 420 J2				
	E 460 K2				
	E 590 K2				bonificato
	E 730 K2				
da bonifica	C 22 E	EN 10083-1 2C22	17204 C 22		normalizzato o bonificato
	C 35 E	EN 10083-1 2C35	17204 C 35		
	C 45 E	EN 10083-1 2C45	17204 C 45		
	C 60 E	EN 10083-1 2C60	17204 C 60		
	38Mn6				
	25 CrMo4	EN 10083-1 25CrMo4	17204 25CrMo4	NF A 35552 25 CD4	bonificato
	41 Cr4	EN 10083-1 25Cr4	17204 25Cr4	NF A 35552 42 C2	
	30 CrMo4			NF A 35552 30 CD4	
	34 CrMo4	EN 10083-1 34CrMo4	17204 34CrMo4	NF A 35552 34 CD4	
	42 CrMo4	EN 10083-1 42CrMo4	17204 42CrMo4	NF A 35552 42 CD4	
da cementazio-	C10E	EN 10084 C10E	17210 C10	NF A 35551 C 10	ricotto o normalizzato
	C15E	EN 10084 C15E	17210 C15	NF A 35551 C 15	
	C15R	EN 10084 C15R			
	16 MnCr5	EN 10084 16 MnCr5	17210 16 MnCr5	NF A 35551 16 MnCr5	
	16 MnCrS5	EN 10084 16 MnCrS5	17210 16 MnCrS5	NF A 35551 16 MnCrS5	
	20 NiCrMo 2-2	EN 10084 20 NiCrMo 2-2	17210 20 NiCrMo 2	NF A 3555120 NiCrMo 2	
	20 NiCrMo S 2	EN 10084 20 NiCrMoS 2	17210 20 NiCrMoS 2	NF A 3555120 NiCrMoS 2	

3. SERVIZI AZIENDALI

Spesso le lavorazioni avvengono nel campo plastico, come avviene nella costruzione di caldaie e scambiatori di calore, con diffuso impiego di operazioni di mandrinatura. In tab. 3.IV si vedono le Norme di riferimento ASTM ed i Gradi di Acciaio prescritti dalle Norme Europee. Sotto, la corrispondenza tra le Norme Europee EN, il grado acciaio, e le norme nazionali abrogate. In questa classe rientrano i tubi di acciaio per impieghi particolari, come i recipienti in pressione ed i componenti strutturali. In tab. 3.V sono riportati i valori commerciali normalizzati della disponibilità di accoppiamento di spessore e diametro dei tubi di questa classe. Questi tubi sono oggetto di norme EN, Direttive Comunitarie, o leggi nazionali vigenti nei diversi Paesi di utilizzo. Le Norme di riferimento ancora in vigore sono riportate in tab. 3.VII e tab. 3.VIII.

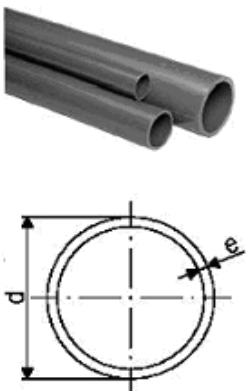
Tubi di acciai speciali. Essi sono fabbricati per impieghi in condizioni particolarmente severe per riguardo alla temperatura, corrosione, ecc. Sono prodotti con acciai legati ad alto contenuto di Cr e Ni, con alliganti Mo, Ti, Ta, ecc.

3.1.1.2. Tubi di Materiale Plastico

tab. 3.IX. Prodotti a saldare. Materie plastiche impiegate nel piping, Costr. GEORG FISCHER, <http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

	Polietilene (PE)	Polipropilene (PP)	Polivinilidene fluoruro (PVDM)
Gamma dimensioni [mm]	20÷315	16÷315	16÷225
Resistente a:	Sostanze acide, alcaline e solventi deboli		Sostanze acide, acidi misti, bromo e fluidi puri
applicazioni	Riscaldamento a pavimento, aria compressa, sistema contain-it, brine a basse temperature, industria alimentare, costruzione di impianti, sistemi per la distribuzione di gas e acqua	Tubazioni per fluidi nella costruzione di impianti e apparati e per installazioni industriali	Tubazioni per fluidi estremamente caldi e aggressivi nella costruzione di impianti e apparati e per installazioni industriali, inoltre per la distribuzione e lo stoccaggio di liquidi ultrapuri e gas (senza pressione)
Non indicato per:	Acidi ossidanti e alogeni, utilizzi ad alte temperature (>60°C)	Acidi ossidanti e alogeni	Soluzioni di soda caustica e soluzioni alcaline con pH>12

tab. 3.X. Esempio di catalogo di tubi a saldare. Tipo PE, Costr. GEORG FISCHER.

	d	PN	kg/m	e
	16	16	0.136	1.8
	20		0.217	2.3
	25		0.326	2.4
	32		0.379	2.8
	40		0.582	3.0
	50		0.896	3.7
	63		1.430	4.7
	75		2.200	5.6
	90		2.880	6.7
	110		4.310	8.2
	160		9.040	11.9

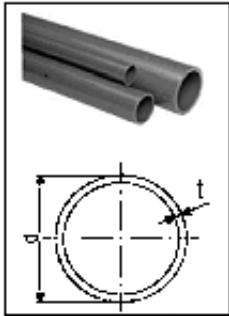
Sono molto diffusi nelle applicazioni senza eccessiva escursione termica, a causa del loro elevato coefficiente di dilatazione lineare. Nel caso dei materiali di tab. 3.IX si hanno vantaggi di installazione, grazie alla loro leggerezza, facilità di montaggio, che avviene per saldatura di testa a rammollimento e compressione,. Invece il PVC di tab. 3.X ha le giunzioni incollate.

Tutti hanno il grande vantaggio della resistenza alla corrosione ed all'usura ed abrasione, causate da particelle trascinate col fluido, come ad esempio la sabbia.

3.1.1.3. Calcolo del Coefficiente di Sicurezza, in Base alla Pressione di Esercizio

Per calcolare il coefficiente di sicurezza alla pressione di esercizio prevista, è necessario conoscere il comportamento alle tensioni nel lungo periodo. Il diagramma di fig. 3.2 è riportato come esempio, si riferisce a tubi di materiale plastico PP-H e permette di leggere direttamente la tensione ammissibile nel lungo periodo, il cui valore dipende dalla durata di vita prevista e dalla temperatura di esercizio.

tab. 3.XI. Esempio di catalogo di tubo da incollare PVC-U, serie S10, SDR21, secondo DIN8061, in barre da 5m. Costr. GEORG FISCHER.

	d	PN	kg/m	t
	25	10	0.150	1.5
	32		0.200	1.8
	40		0.300	1.9
	50		0.552	2.4
	63		0.854	3.0
	75		1.220	3.6
	90		1.750	4.3
	110		2.610	5.3
	140		4.180	6.7
	160		5.470	7.7
	180		6.880	8.6
	200		8.510	9.6
	225		10.600	10.8

Poiché lo spessore della parete dei raccordi e delle valvole è generalmente superiore di quella del tubo avente la stessa pressione di esercizio, i calcoli possono essere basati sul diametro esterno e lo spessore del tubo. I fattori effettivi di progetto sono dati dalla:

$$C = \frac{\sigma_s \cdot 20 \cdot t}{p \cdot (d - t)} \quad (3.4)$$

dove:

C è il fattore di disegno, detto anche coefficiente di sicurezza,

σ_s la tensione massima ammissibile di esercizio, in N/mm^2 ,

t lo spessore del tubo, in mm,

d il diametro esterno del tubo, in mm,

p la pressione di esercizio del tubo, in bar.

Il calcolo consiste nel determinare il coefficiente di sicurezza dell'impiego ed accettare la scelta del tubo, se il coefficiente C è sufficientemente grande, relativamente alle effettive condizioni di esercizio. Il calcolo indicato sopra si applica solo a tubazioni che si possono dilatare liberamente. Quelle che sono ancorate rigidamente in direzione as-

3. SERVIZI AZIENDALI

siale, devono essere verificate contro il carico di punta. Nella maggior parte dei casi, questo porta ad una riduzione della pressione massima interna, come a minori distanze tra i supporti. Inoltre, devono essere prese in considerazione le forze che agiscono sui punti fissi.

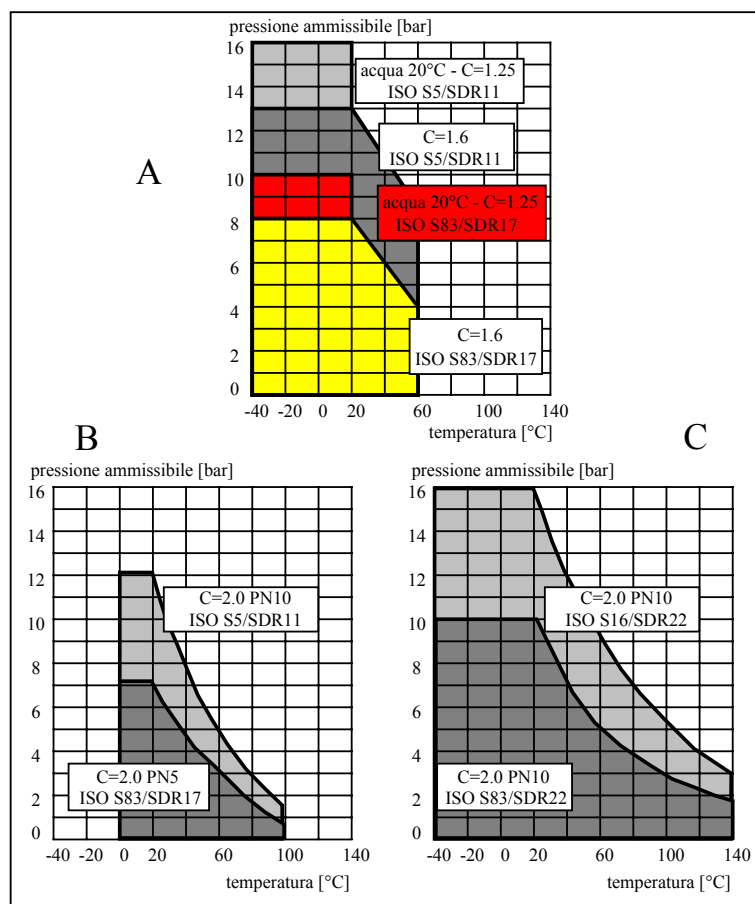


fig. 3.2. Limiti di applicazione di tubi e raccordi di materiale plastico. **A)** polietilene, **B)** polipropilene, **C)** Polivinilidene fluoruro. Valori misurati su **25 anni** di utilizzo, tenendo conto del fattore di sicurezza **C**, con acqua come fluido di prova. Costr. GEORG FISCHER.
<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

3.1.1.4. Colori delle Tubazioni

tab. 3.XII. Colori unificati delle tubazioni

FLUIDO	
Estinzione incendi	RAL 3000
acqua	RAL 6032
vapore e acqua surriscaldata	RAL 9006
aria	
Oli minerali, liquidi infiammabili e/o combustibili	RAL 8007
Gas allo stato gassoso e/o liquefatto	RAL 1024
Acidi	RAL 2010
Fluidi pericolosi	RAL 1021

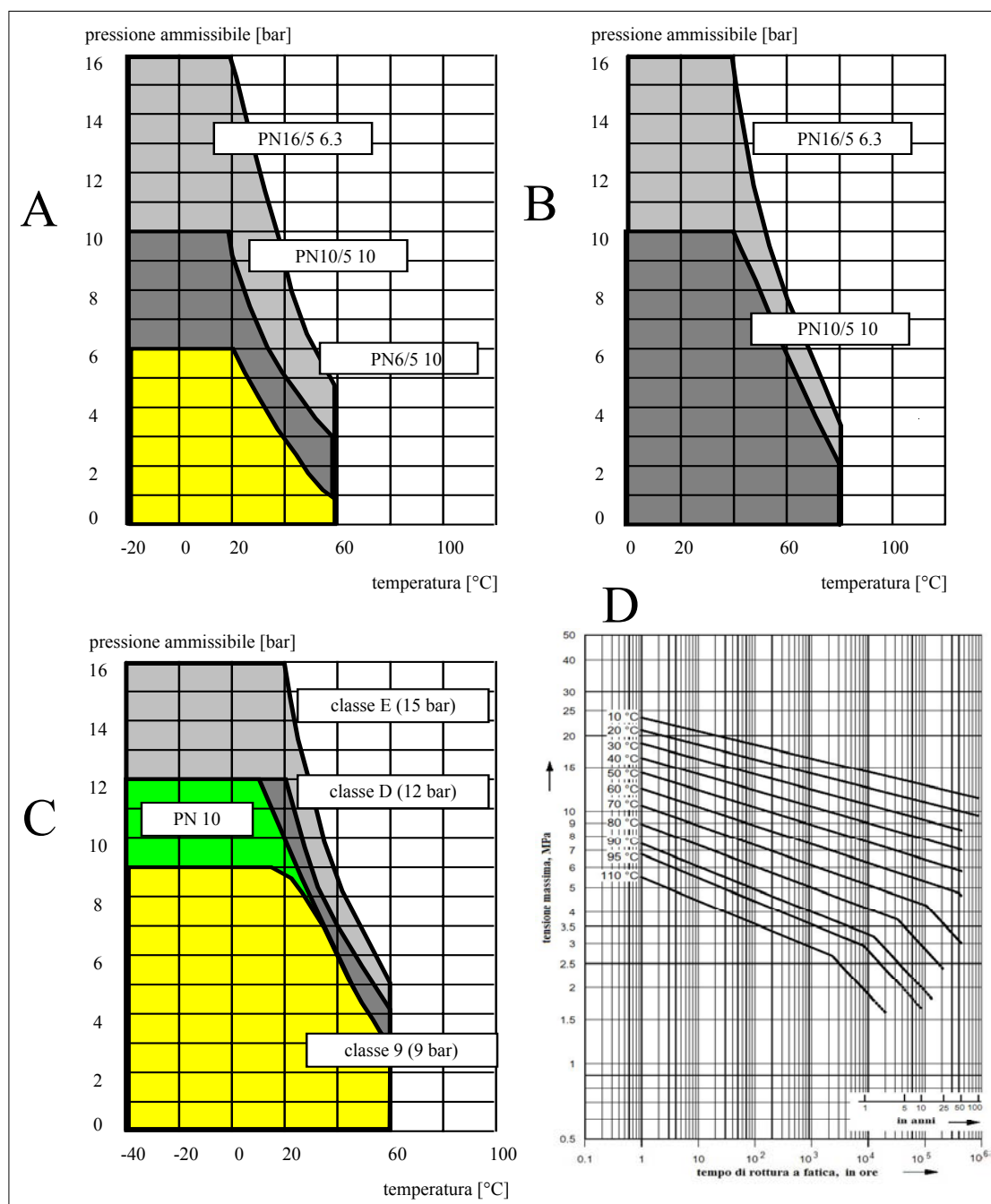


fig. 3.3. Limiti di applicazione di tubi e raccordi di materiale plastico. A) PVC-U, B) PVC-C) ABS. Valori misurati su **25 anni** di utilizzo, tenendo conto del fattore di sicurezza **C**, con acqua come fluido di prova. Costr. GEORG FISCHER. D) Curve di regressione della resistenza a fatica del PP-H.

<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

3.1.2. Giunti e Guarnizioni

I giunti ed i raccordi possono essere classificati come **fissi** e come **smontabili**.

I giunti **fissi** sono ottenuti per saldatura, brasatura, o deformazione plastica fino all'interferenza delle due parti collegate. In questi casi, per ottenere una buona giunzione, è necessario curare particolarmente la preparazione delle parti da collegare, in parti-

colar modo la precisione delle superfici. In fig. 3.4, sono rappresentati i tipi più diffusi: i primi richiedono un perfetto allineamento tra i tronchi, quello a sfera permette leggeri disassamenti.

tab. 3.XIII. Prodotti da incollare. Materie plastiche impiegate nel piping, Costr. GEORG FISCHER, <http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

	Polivinilcloruro senza plastificanti (PVC-U)	Polivinilcloruro surclorurato (PVC-C)	Acrilnitrile-Butadiene-Stirol (ABS)
Gamma dimensioni [mm]	6÷400	16÷225	16÷225
resistente a:	Sostanze acide e alcaline	Sostanze acide e alcaline ad alte temperature (<90°C) e elevate concentrazioni	Sostanze alcaline, acidi deboli e sali
applicazioni:	Acqua potabile, acqua distillata, acqua per impieghi vari, acque reflue, acqua salmastra, acqua di mare, costruzione di impianti, industria alimentare. Materia plastica universalmente utilizzabile con una vasta gamma di tubi e raccordi	Fluidi caldi e aggressivi, elevate temperature, ambienti altamente corrosivi, industria chimica in genere (prodotti acidi misti) e applicazioni industriali con impiego di acqua calda	Brine a basse temperature, acqua glicolata, refrigeranti, aria condizionata, acqua potabile, trattamento acque, industria mineraria, industria alimentare, acqua di processo
non indicato per:	Solventi aromatici, esteri, chetoni, idrocarburi clorurati, utilizzi a basse temperature (<0°C), utilizzi ad alte temperature (>60°C)	Solventi aromatici, esteri, chetoni, idrocarburi clorurati, utilizzi a basse temperature (<0°C)	Utilizzi a alte temperature (>60°C), candeggine, solventi aromatici, esteri, chetoni e alcoli

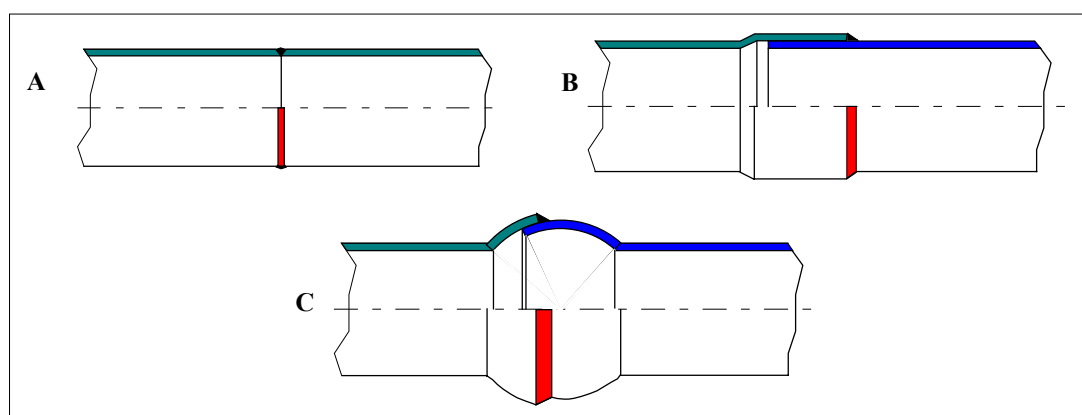


fig. 3.4. Giunti saldati. A) a manicotto, B) a bicchiere cilindrico, C) a sfera.

I giunti smontabili sono **a flangia** e **filettati**.

I giunti **a flangia** sono impiegati di regola per i diametri nominali più grandi, ed utilizzati per l'inserimento nella canalizzazione, di acciaio o di materiale plastico, di valvole, macchine (pompe, ventilatori, ecc.) e per consentirne il facile smontaggio.

Per pressioni nominali basse (fino a PN10) si impiegano *flangie piane*, del tipo di fig. 3.5A. Vengono collegate al tubo mediante saldatura tra l'estremità del tubo e la superficie interna della flangia, oppure fra l'esterno del tubo ed il fianco della flangia. Una flangia cieca serve ad intercettare la tubazione all'estremità, e consente successive estensioni. Si adoperano anche flangie scorrevoli, adatte ad impieghi non gravosi, fluidi caldi a bassa pressione, ecc, del tipo di fig. 3.5A. Tra le superfici affacciate viene interposta una guarnizione piana di materiale elasticamente deformabile.

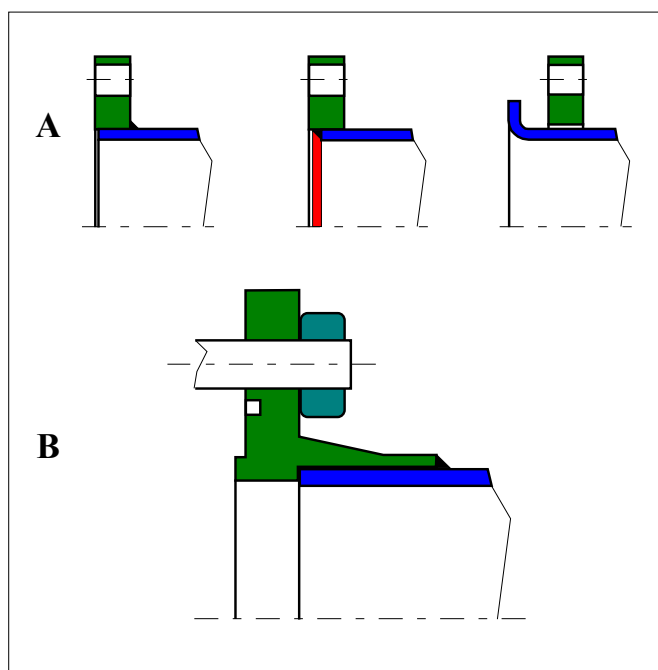


fig. 3.5. Giunti smontabili a flangia. **A)** piane, per basse pressioni nominali, **B)** a collare, per medie ed alte pressioni nominali.

Per pressioni nominali più elevate, si impiegano *flangie a collare*, che sono collegate mediante saldatura dell'estremità del tubo e l'orlo del collare, oppure (nel caso di flangie a tasca) infilando il tubo nella flangia fino alla battuta e saldando lungo il fianco del collare, come mostrato in fig. 3.5C. È spesso necessario impiegare la saldatura ad arco, per evitare di portare in temperatura l'intero corpo della flangia. Le flangie affacciate sono centrate mediante un risalto maschio-femmina, quindi l'allineamento dei tronchi deve essere perfetto. Tra le superfici affacciate viene interposta una guarnizione normalmente toroidale di elastomero oppure, per le altissime pressioni metallica (rame, ferro dolce, ecc.). Il materiale delle guarnizioni viene scelto in base alle caratteristiche del fluido, quindi natura, temperatura e pressione. La distinzione dell'impiego delle guarnizioni piane non metalliche e le altre è rappresentata dal prodotto: $p \cdot T = 8500$, dove **p** è misurata in bar e **T** in °C.

Per collegare le flangie (piane od a collare) a tubi filettati, aventi diametri inferiori a 2", la giunzione delle flangie al tubo può essere realizzata filettando il foro centrale della flangia. Al di sopra di tale diametro si adottano solo flangie saldate.

Il numero dei fori dei tiranti è 4 (fino a DN100), o suo multiplo (8 fino a DN200, 12 fino a DN350, 16 fino a DN450, ecc, secondo UNI2223).

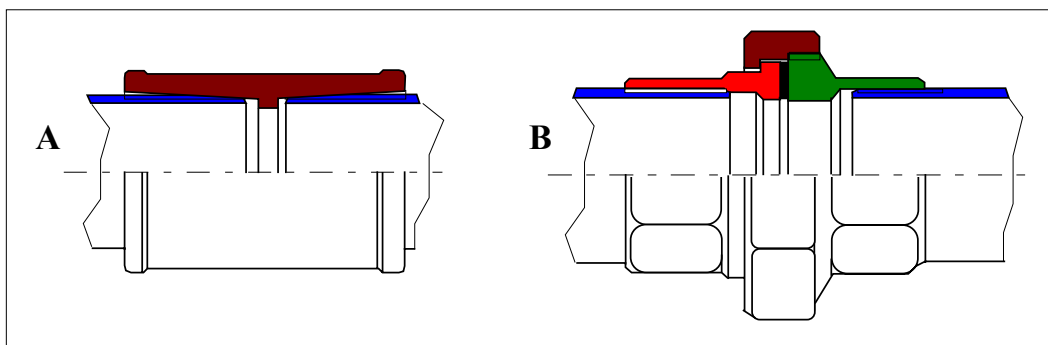


fig. 3.6. Giunti smontabili Gas. A) a manicotto, B) a bocchettone (nel caso mostrato, femmina-femmina).

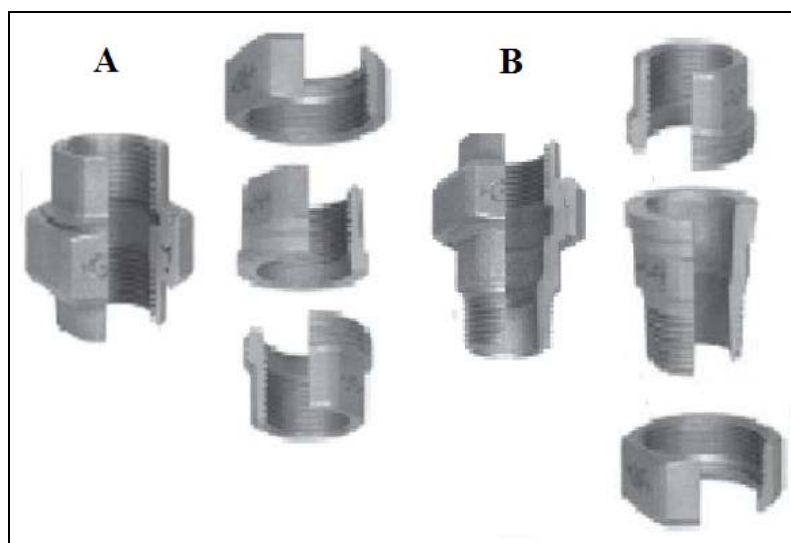


fig. 3.7. Esempi di bocchettoni di ghisa commerciali a sede della guarnizione piana. A) femmina-femmina, B) maschio-femmina. Costr. GEORG FISCHER.
<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

Quando i tubi sono di acciaio o materiale plastico ed hanno diametri piccoli, si usano giunti filettati del tipo di fig. 3.7, **a manicotto** od **a bocchettone**, per DN inferiori a 200 e PN inferiori a 16.

Nel caso di filettatura Gas, il *manicotto* è filettato femmina (con filettatura cilindrica alle due estremità) e la tenuta si attua sul filetto con l'impiego di TEFLON in pasta o nastro. Quelli adatti ai tubi di materiale plastico (del tipo PVC) sono lisci ed il collegamento avviene per incollaggio lungo le superfici di contatto.

Anche il *giunto a bocchettone* è impiegato nei collegamenti di tubi ed accessori Gas e per le canalizzazioni di materiale plastico per diametri inferiori a DN200 e PN inferiori a 16. I bocchettoni a **sede piana** sono preferiti per la loro facile smontabilità, che lascia inalterata la tenuta sul filetto del tubo. Possono essere montati e smontati senza difficoltà e sono forniti anche in pezzi separati. Invece, quelli con **sede metallica** conica o sferica non possono essere scambiati né riutilizzati in diversa sede, e sono forniti e venduti uniti insieme.

3.1.3. Raccordi

Naturalmente il materiale che costituisce i raccordi si accorda con quello dei tubi e degli accessori ai quali devono essere collegati. Così, si hanno raccordi di materiale plastico e raccordi di ghisa malleabile.

Le perdite di carico dipendono dal tipo di raccordo, come pure dal tipo di flusso che è presente al suo interno. Normalmente, i calcoli si basano sul coefficiente di perdita di carico localizzata ξ della (3.5), che rappresenta la somma di tutte le perdite localizzate della tubazione considerata. Con i simboli consueti, la misura della perdita di carico in bar è:

$$\Delta p_{FI} = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 10^5} \cdot \rho \quad (3.5)$$

Per tener conto delle perdite nei giunti, è raccomandato conservare un margine aggiuntivo del 10 – 15%, per tener conto della qualità del tubo, per la quale la scabrezza tende a crescere, e del numero e qualità dei giunti.

Come si vede in tab. 3.XIV, i coefficienti di perdita di carico localizzata individuali dipendono dal diametro nominale e dalla loro forma.

tab. 3.XIV. Perdite di carico localizzate nei raccordi, valori di ξ .

Tipo di raccordo	Diametro nominale			
	20	32	50	≥ 63
Curva a 90°	1.5	1.0	0.6	0.5
Gomito a 90°	2.0	1.7	1.1	0.8
Gomito a 45°	0.3			
Tee a 90°	1.5			
Brusco restringimento	0.5			
Brusco allargamento	1.0			
Biforcazione o riunione di correnti	DN < 90, ξ da 0.5 ad 1.0 DN > 90, $\xi = 0.1$			

3.1.3.1. Raccordi di Ghisa

Vengono costruiti di ghisa malleabile. Più precisamente, la GEORG FISCHER li produce in ghisa malleabile a cuore bianco, con trattamento di ricottura, secondo la Norma EN10242, che sostituisce quelle nazionali della maggior parte dei Paesi Europei.

Per la denominazione dei raccordi, ad esempio di fig. 3.7, si devono osservare i *simboli design*, corrispondenti al materiale ed alle filettature, secondo l'esempio di tab. 3. XV, nella quale i dettagli di combinazione sono raggruppati nel *simbolo design* A. Infatti, vista la grande varietà di qualità e di esecuzione delle filettature, per l'individuazione di un raccordo non è più sufficiente fare riferimento alla norma di fornitura, ma è necessario indicarne anche il *simbolo design*, da aggiungere alle specifiche principali, che riguardano:

- la forma, che indica la tipologia del raccordo, ad esempio gomito, curva, Tee, croce, ecc.
- la dimensione della filettatura, che, se uguale permette di essere indicata una sola volta. I raccordi ridotti con due filettature diverse sono denominati con le filettature in sequenza, si indica prima la dimensione più grande, poi la più piccola. Per

3. SERVIZI AZIENDALI

quelli con tre o più dimensioni di filettatura, si indica prima quella di passaggio, poi quelle delle derivazioni.

In linea di massima, le filettature dei raccordi sono del tipo di collegamento secondo ISO7-1, a tenuta stagna. Nel gaso di filettature Gas secondo ISO228 (che non sono a tenuta stagna) esse sono indicate con la lettera **G**.

- la superficie, se nera o zincata. Solamente i raccordi *zincati di ghisa malleabile* possono essere usati per le canalizzazioni di acqua potabile, poiché quelli di acciaio hanno una protezione zincata ottenuta galvanicamente, che è molto debole,
- la qualità dei pezzi.

Con la Norma EN10242 viene prescritto per la prima volta un sistema di gestione della Qualità documentato e certificato in conformità almeno alla Norma EN ISO9002.

tab. 3.XV. Raggruppamento delle caratteristiche di un raccordo **A**, secondo EN10242.

simbolo design	tipo di filettatura esterna	tipo di filettatura interna	materiale
A	Conica R	Cilindrica ARP	EN-GJMW-400-5

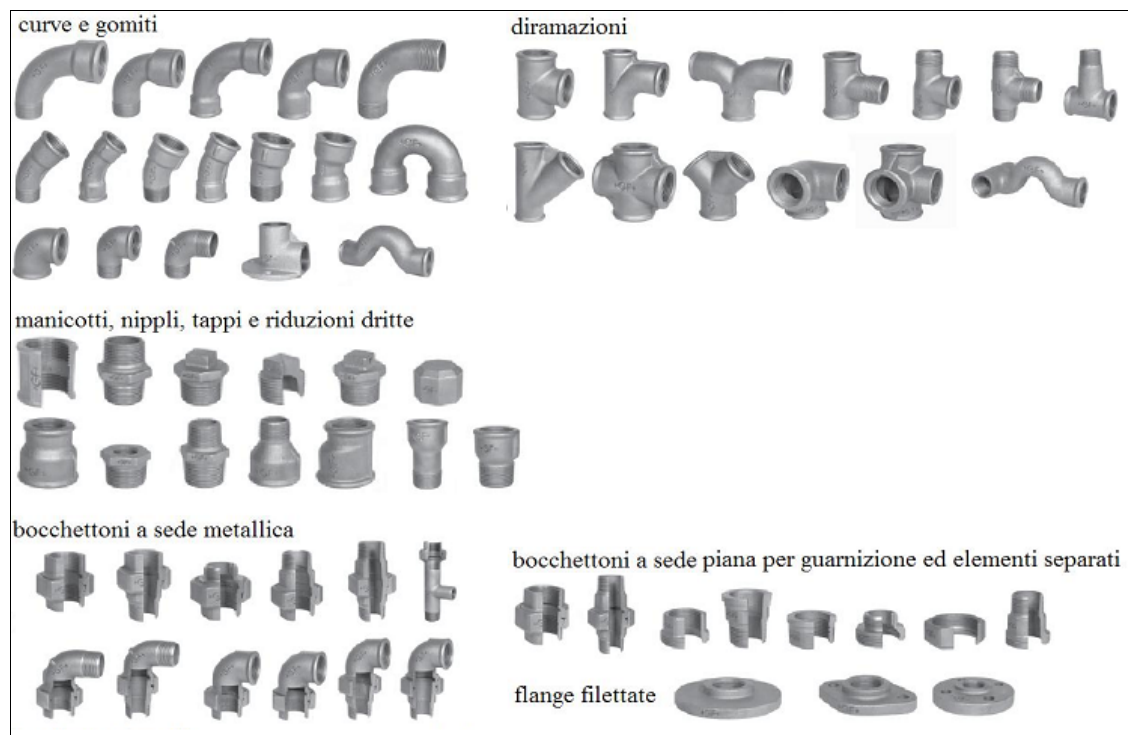


fig. 3.8. Gamma di raccordi di ghisa malleabile. Costr. GEORG FISCHER.
<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

3.1.3.2. Raccordi di Materiale Plastico

La gamma di raccordi di materiale plastico da incollaggio del Costr. GEORG FISCHER è riportata in fig. 3.9.

Come detto a proposito dei tubi, solamente quelli a base di PVC ed ABS sono adatti ad essere incollati, mentre quelli a base di PE, PP e PVDM sono destinati ad essere fusi di testa. In fig. 3.9 sono riportati anche i raccordi che permettono di prolungare i tubi di

acciaio, oppure di collegare valvole metalliche, quindi hanno un raccordo filettato (di vari materiali metallici) e l'altro adatto all'incollaggio.

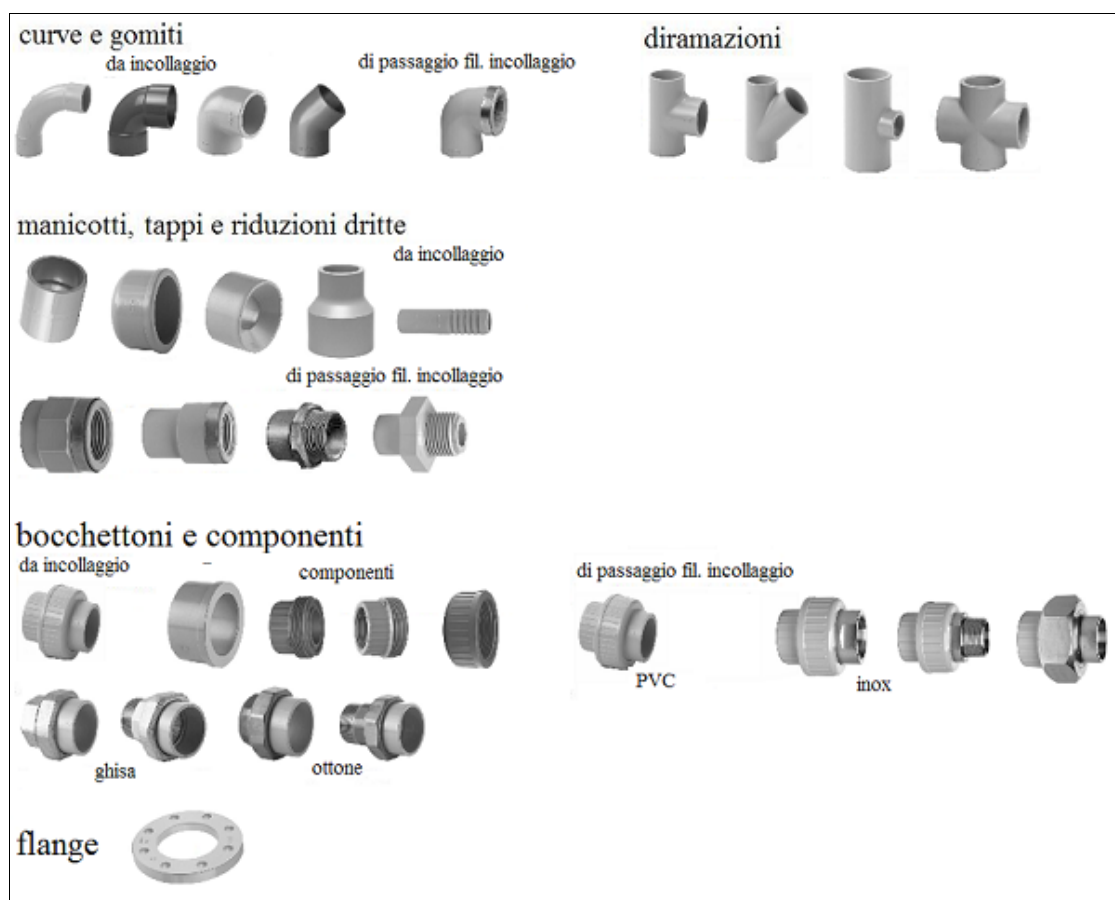


fig. 3.9. Gamma di raccordi di materiale plastico. Costr. GEORG FISCHER.
<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

3.1.4. Valvole

Sulle valvole sono riconoscibili alcuni elementi comuni:

- il **corpo** della valvola: l'involucro su cui sono ricavate le luci di passaggio del fluido,
- l'**otturatore**: tramite cui si ostruisce il passaggio del fluido. Se la valvola è manuale, esso è collegato al volante di manovra tramite un stelo,
- il **cappello**: chiude il corpo valvola. Esso può essere aperto per intervenire all'interno della valvola.

Dal punto di vista geometrico le valvole possono essere: a via dritta, se l'ingresso e l'uscita del fluido sono sullo stesso asse, o a squadra, se sono ortogonali. Le valvole possono essere a tre vie, quando sono possibili due ingressi e un'uscita o viceversa. I materiali più usati sono la ghisa, l'acciaio, il bronzo, l'ottone e il PTFE. Le valvole possono essere azionate manualmente o tramite aria compressa, olio, o motore elettrico.

La scelta delle valvole è molto importante nella progettazione del piping. Essa infatti deve garantire:

- resistenza chimica al fluido di attraversamento,
- resistenza alla pressione di esercizio, alla temperatura massima prevista,
- perdite di carico ridotte, o comunque controllate,
- sicurezza di funzionamento,

- basso costo di manutenzione.

Esistono molti tipi di valvole, principalmente quelli rappresentati schematicamente in fig. 3.10:

- di intercettazione, comprendenti i rubinetti,
- di non ritorno,
- di regolazione,
- di riduzione della pressione,
- di sicurezza,
- di sfiato, ecc.

Le perdite di carico attraverso una valvola sono descrivibili mediante numeri caratteristici k_v , detti coefficienti di portata, valore della portata d'acqua o d'aria che passa attraverso la valvola completamente aperta, alla caduta di pressione di 1 bar.

Eventualmente, i fattori di portata sono rappresentati da curve, in funzione del grado di apertura della valvola (0%, per valvola chiusa, 100%, per valvola aperta). Tali curve sono diverse da valvola a valvola, dipendendo dalla geometria e fluidodinamica adottata, tuttavia, spesso i diagrammi di un tipo di valvola sono rappresentati in forma parametrica, cosicché una sola curva può rappresentare il comportamento di un'intera famiglia, indipendentemente dall'effettivo DN della valvola. Per ottenere tale rappresentazione, nei diagrammi l'ascissa riporta la percentuale di apertura della valvola e l'ordinata la percentuale del k_v caratteristico della valvola completamente aperta.

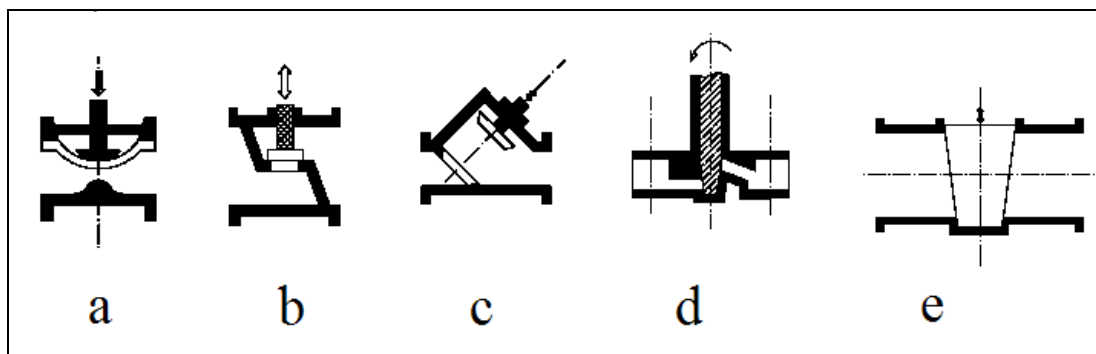


fig. 3.10. Schema di alcune tipologie di valvole di intercettazione e regolazione. a) a diaframma, b) a globo, c) ad Y, d) a spillo, e) a saracinesca.

Il valore di k_v è solamente uno degli indici caratteristici di flusso di una valvola, ed inoltre non è nemmeno univoco, cosicché è necessario specificare l'unità di misura ogni volta che lo si richiama. In particolare, si distinguono (il valore 100 indica la valvola completamente aperta):

k_{v100} misurato in dm^3/min ,
 k_{v100} misurato in m^3/h ,
 C_{v100} misurato in unità US.

Partendo dall'ipotesi che l'impiego delle valvole sia sempre nel campo del *regime turbolento*, le perdite di carico attraverso una valvola sono descrivibili mediante le curve caratteristiche della portata in funzione dei fattori k_v :

$$\Delta p_{Ar} = \left(\frac{Q}{k_v} \right)^2 \cdot \frac{\rho}{1000} \quad (3.6)$$

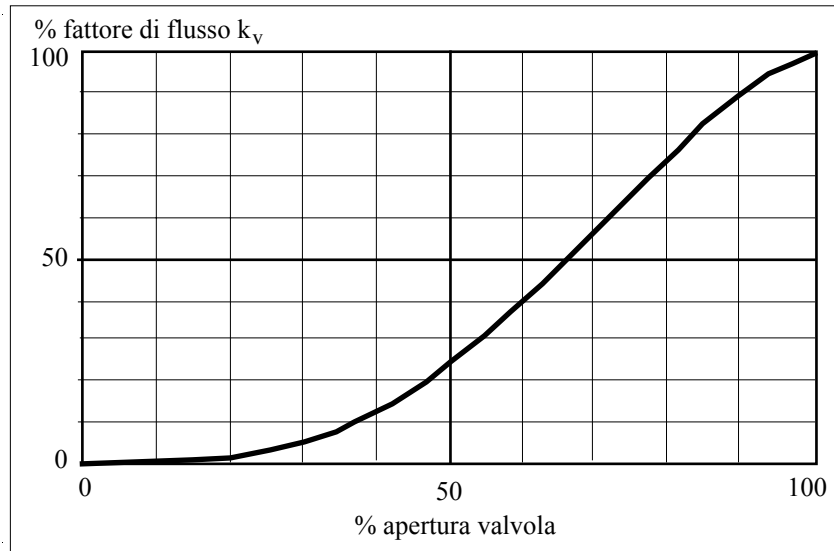
dove:

Δp_{Ar} è la perdita di carico della valvola, in bar,

Q la portata in m^3/h ,

ρ la densità del fluido, in kg/m^3 ,

k_v la caratteristica di flusso della valvola, in m^3/h .



DN [mm]	d [mm]	k_v [dm^3/min], $\Delta p=1\text{ bar}$	k_v [m^3/h], $\Delta p=1\text{ bar}$
10	16	41	2.5
15	20	95	5.7
20	25	180	10.8
25	32	327	19.6
32	40	484	29.0
40	50	725	43.5
50	63	1130	68.0
65	75	1700	102.0
80	90	2500	150.0

fig. 3.11. Curva caratteristica [apertura – k_v] di una famiglia di valvole di intercettazione a farfalla. Costr. GEORG FISCHER.

<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

Le curve differiscono da valvola a valvola e vanno valutate prima dell'installazione. Nell'ipotesi in premessa, è possibile scrivere:

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_1} = \left[\frac{Q}{k_v} \bigg/ \frac{Q_1}{|k_v|_1} \right]^2 \quad (3.7)$$

Come detto, i diagrammi caratteristici delle valvole portano in ascissa la frazione di apertura massima, ed in ordinata la frazione di k_v , relativamente al valore massimo, quando è completamente aperta: in tal modo, una tabella, allegata al diagramma, permette di svincolarsi dalla dimensione della valvola, peraltro appartenente ad una sola famiglia, come mostrato in fig. 3.11.

Esempio

Una valvola a farfalla DN50 sia installata in un piccolo impianto di alimentazione di rete idrica a 1bar, a partire da un serbatoio pressurizzato a 2bar. Sia richiesto di calcolare il grado di apertura della valvola, quando debba erogare 80m³/h, essendo la curva caratteristica della valvola riportata in fig. 3.11. Della tabella si prenda k_v misurato in m³/h, a $\Delta p=1$ bar.

Essendo il valore di riferimento di Δp attraverso la valvola a farfalla pari ad 1bar, la curva di fig. 3.11 può essere presa direttamente per il calcolo. Dalla tabella k_v si osserva che, a piena apertura, la valvola eroga 68m³/h, quindi il diametro DN50 è insufficiente. Scegliendo la valvola DN65 immediatamente più grande, il valore k_v sale a 102 m³/h, quindi la valvola è in grado di garantire, a piena apertura, una portata superiore al valore richiesto. Poiché è richiesta la portata di 80m³/h, cioè:

$$\frac{80}{102} = 78.4\%$$

poco più del 78% della portata massima, sarà necessario regolare la valvola in modo che, dal diagramma di fig. 3.11 abbia il grado di apertura approssimativo dell'83%.

Esempio

Si debba determinare la perdita di carico di una valvola a farfalla DN80, da installare tutta aperta in una tubazione di pari diametro ed attraversata dalla portata nota di 50m³/h. Dalla tabella di fig. 3.11 risulta che k_v è pari a 150m³/h.

Applicando la (3.6), si ottiene:

$$\Delta p = 1 \cdot \frac{50^2}{150^2} = 0.111 \text{ bar}$$

che corrisponde ad un'energia persa pari a:

$$R_{AC} = \frac{\Delta p}{\rho} = \frac{0.111 \cdot 10^5}{1000} = 1.11 \frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/m}^3} = 11.1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \approx 1 \text{ mC.A.}$$

Si può ricavare anche il coefficiente di resistenza localizzata della valvola, sapendo che il diametro effettivo della valvola è 0.09m e procedendo nel seguente modo:

$$R_{AC} = \xi \cdot \frac{c^2}{2} = 11.1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{con} \quad v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{50/3600 \cdot 4}{\pi \cdot 0.09^2} = 2.18 \text{ m/s}$$

$$\xi = 11.1 \cdot \frac{2}{2.18^2} = 4.67$$

3.1.4.1. Valvole di Intercettazione

Vengono montate con lo scopo di escludere tratti di tubazione quando essi non sono in funzione, oppure per consentire la manutenzione delle apparecchiature installate o della tubazione stessa. Si usano in posizione tutta aperta o tutta chiusa. In posizione intermedia, esse lasciano passare parte della portata massima di fluido, non c'è dipendenza lineare tra il grado di apertura e la portata e la loro capacità di regolazione non è precisa. Inoltre, in posizione intermedia, l'otturatore può vibrare, si corre il rischio di danneggiare la sede di tenuta e l'otturatore può essere soggetto ad erosione.

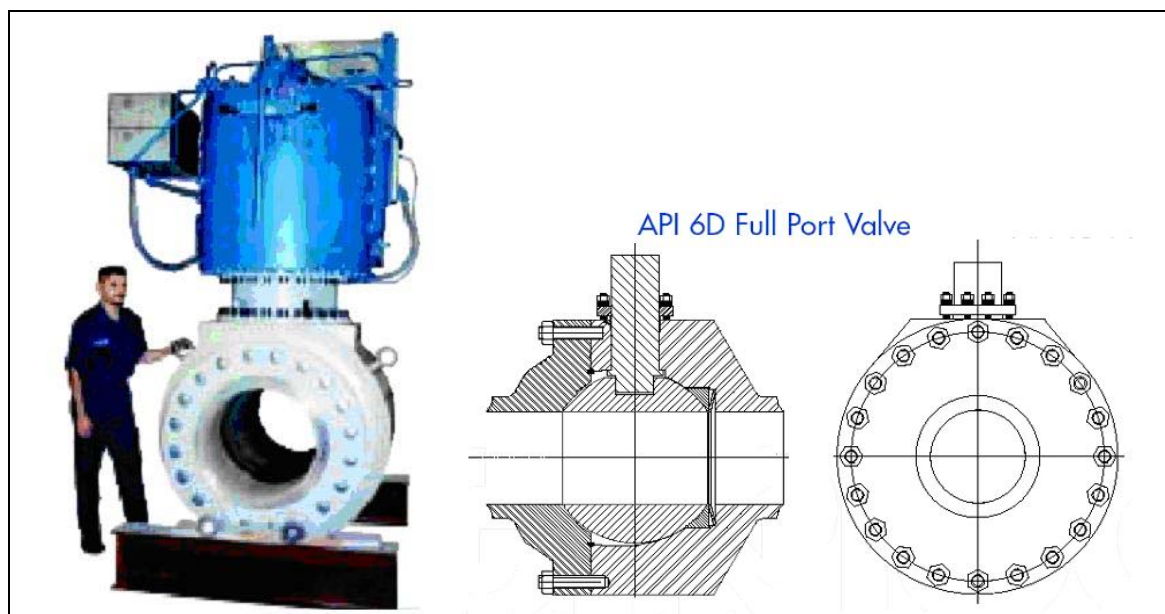
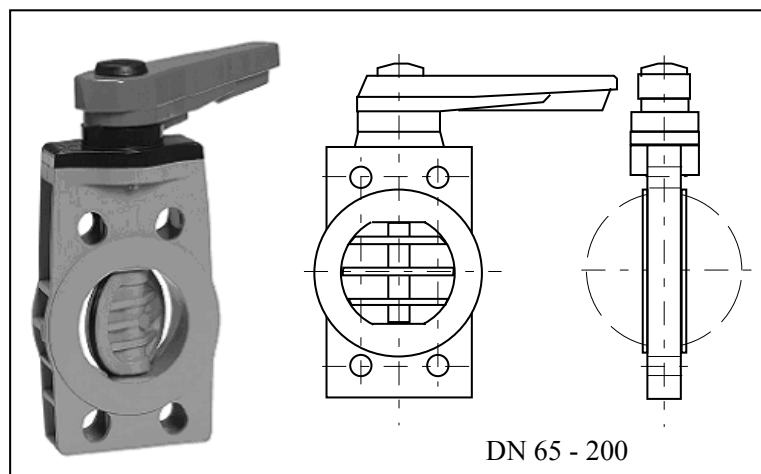


fig. 3.12. Valvola di intercettazione a sfera di grande diametro, costr. VALVTECH-NOLOGIES <http://www.valv.com/>

Le valvole di intercettazione possono essere a rubinetto, a farfalla ed a saracinesca. Quella a rubinetto, sono munite di un otturatore forato di varia forma, che ruota sul suo asse lasciando libero oppure ostruendo il passaggio del liquido. L'otturatore può essere di forma conica, come nei rubinetti a maschio, o sferica, come in fig. 3.12, che permette di non avere praticamente perdita di carico in posizione tutta aperta.



DN	PN	k_v [m ³ /s, $\Delta p=1$ bar]
80	10	0,05
100	10	0,11
150	6	0,28

fig. 3.13. Valvola di intercettazione a farfalla, per tubazioni di materiale plastico ABS a saldare, costr. GEORG FISCHER.
<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

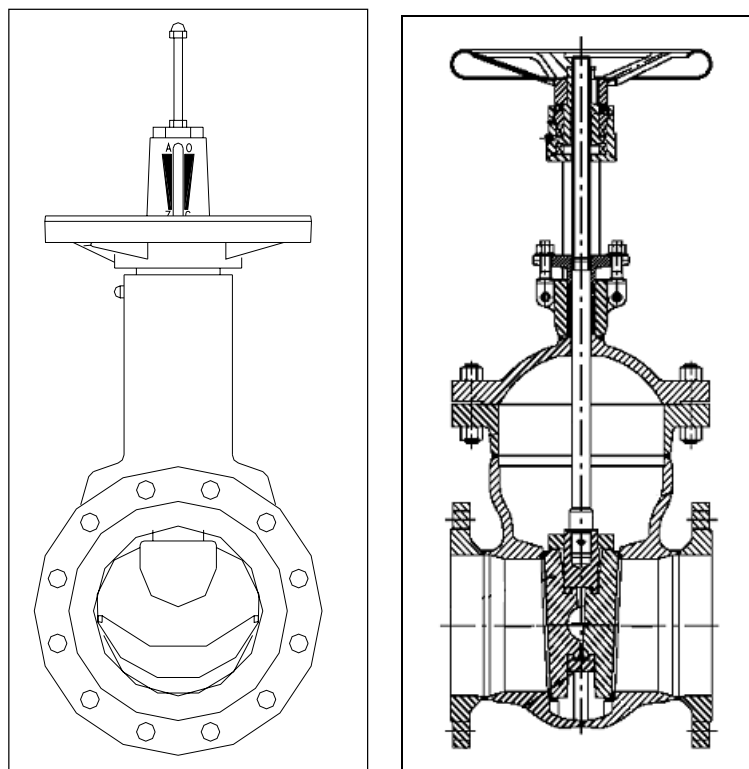
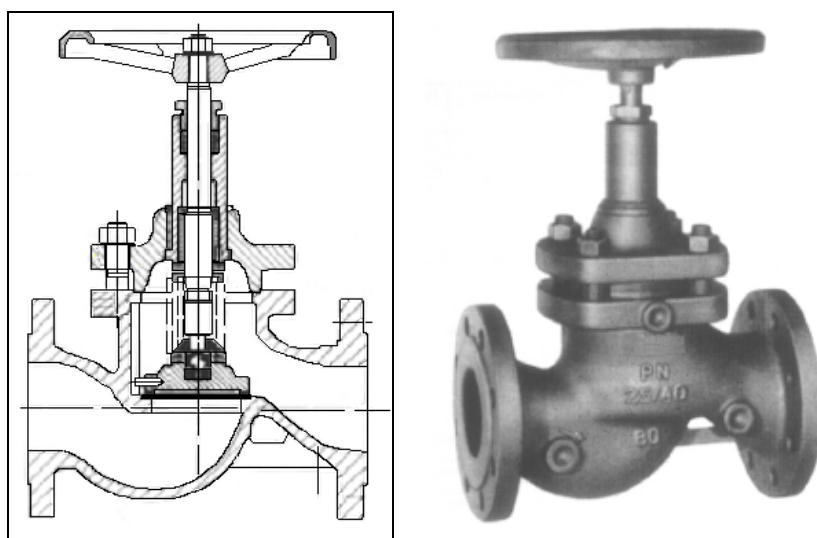


fig. 3.14. Valvola di intercettazione a saracinesca. Costr. KSB <http://www.ksb.com/>



PRESSIONI

PN	Pressione di esercizio massima (bar) alla temperatura (C)						
40	-10 - 120	200	250	300	400	450	
	40	35	32	28	24	21	13

COEFFICIENTI DI PORTATA [m³/s, Δp=1bar]

DN	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
k _v	3	5	9	14	22	34	66	99	155	245	350	620

fig. 3.15. Valvola di regolazione a flusso avviato e tenuta a soffietto, di acciaio. Costr. VAPORUSA. Esecuzioni fino a DN200, PN40, T_{max} = 450C.
<http://vaporusa.it/>

Nelle valvole a saracinesca, l'otturatore è costituito da un setto che si sposta ortogonalmente all'asse del canale, manovrato manualmente tramite un volantino o meccanicamente a partire da motori elettrici, pneumatici od idraulici. Un esempio è riportato in fig. 3.14.

3.1.4.2. Valvole di Regolazione

Le valvole di regolazione possono essere del tipo a globo, ad angolo e ad Y, sono basate tutte sullo stesso principio e sono costruite per lo stesso impiego. Sono principalmente destinate ad ottenere la regolazione della portata con sufficiente precisione. Il modo di costruzione dei canali di ingresso ed uscita e della sede dell'otturatore, a flusso avviato (cioè ben curato dal punto di vista fluidodinamico), riduce il pericolo di erosione.

La valvola di regolazione a globo di fig. 3.15 presenta un profilo del condotto a flusso avviato, che consente l'ottenimento di elevati valori di k_v , come rappresentato nella relativa tabella.

3.1.4.3. Valvole di Ritegno

Esistono molti modelli di valvole di ritegno (o di non ritorno). Quelle metalliche sono costruite in due versioni principali, *orizzontale oscillate* (clapet) e *verticale*, con flusso del fluido verso l'alto.

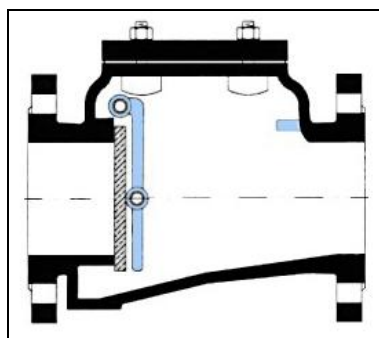
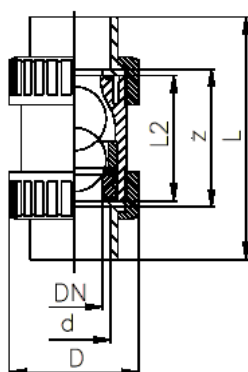


fig. 3.16. Valvola di ritegno a clapet. Costr. OPPO.
http://www.oppo.it/materiali/valvole/valvole_clapet.html



DN	PN	k_v [m ³ /s, $\Delta p=1\text{bar}$]
10	10	0.003
15	10	0.004
20	10	0.005
25	10	0.006
32	10	0.012
50	10	0.015

fig. 3.17. Valvola di ritegno di materiale plastico ABS, a saldare. Costr. GEORG FISCHER.
<http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm>

Nella valvola orizzontale a clapet di fig. 3.16, il flusso è avviato, in quanto la direzione del flusso subisce abbastanza deboli deviazioni ed un relativamente scarso restringimento di sezione, in modo da garantire una piccola perdita di carico nella direzione non intercettata.

Esistono anche valvole di ritegno a sfera, come quelle di costruzione GEORG FISCHER di fig. 3.17, la quale, tuttavia, presenta inevitabilmente valori bassi di k_v .

3.1.4.4. Valvole di Sicurezza

Le valvole di sicurezza sono previste per interventi automatici di emergenza, allorché la pressione del fluido contenuto in una tubazione od un recipiente supera un valore prefissato.

Si hanno valvole di sicurezza:

- a peso diretto**, cioè aventi un peso applicato direttamente sull'otturatore,
- a leva con contrappeso**, nelle quali, spostando il peso, si ottiene la regolazione della pressione di esercizio, come in fig. 3.18,
- a membrana**, per reti idriche di bassa e media pressione,
- a molla**, con taratura della molla a compressione, fig. 3.19.

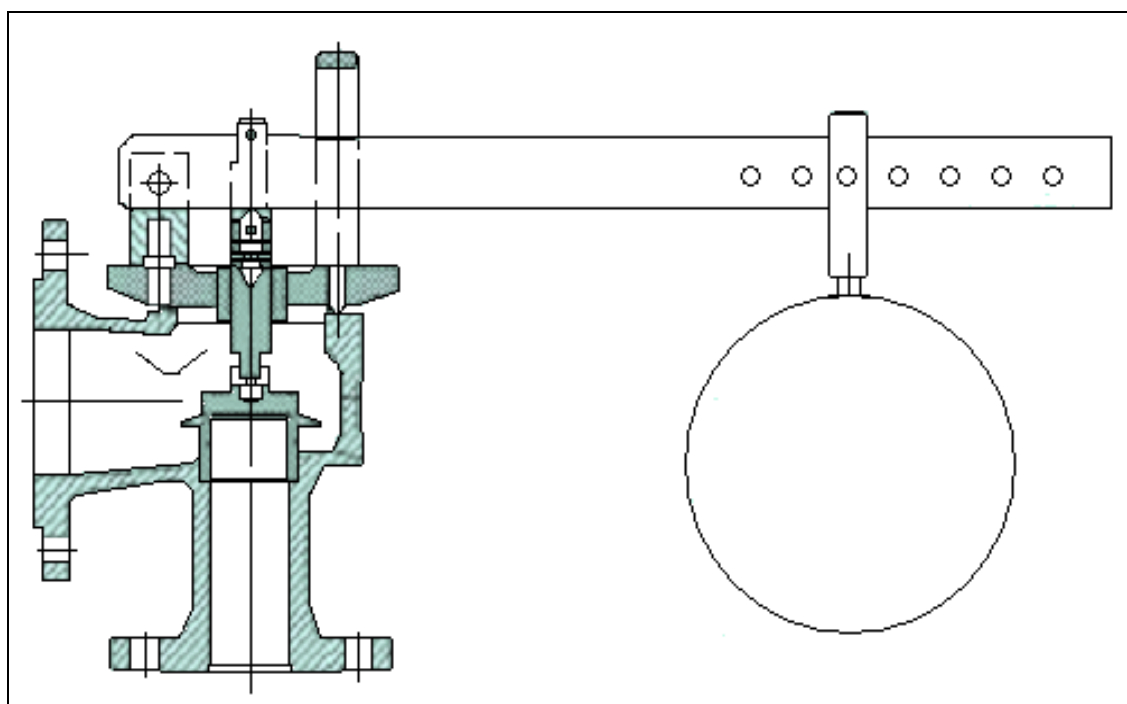


fig. 3.18. Valvola di sicurezza a contrappeso, costr. BESA, ingresso DN25 – 250, uscita DN25 – DN400, corpo di ghisa, pressione di intervento fino a 40bar, temperatura massima 425C. <http://www.besa.it/>

3.1.4.5. Valvole di Riduzione e Stabilizzazione della Pressione

Il principio operativo dei riduttori di pressione è basato sulla misura continua della pressione a valle (pressione ridotta), convertendola in forza, tramite la superficie di un diaframma elastico (membrana), da confrontare con la forza contrapposta di una molla. La membrana è collegata e posiziona l'otturatore principale, che lamina il fluido, riducendone la pressione. In questo modo, si utilizza la pressione ridotta agente sul servo-

motore, e quindi lo spostamento della membrana comporta direttamente lo spostamento dell'otturatore, e si ha un riduttore senza pilota, come quello di fig. 3.20.

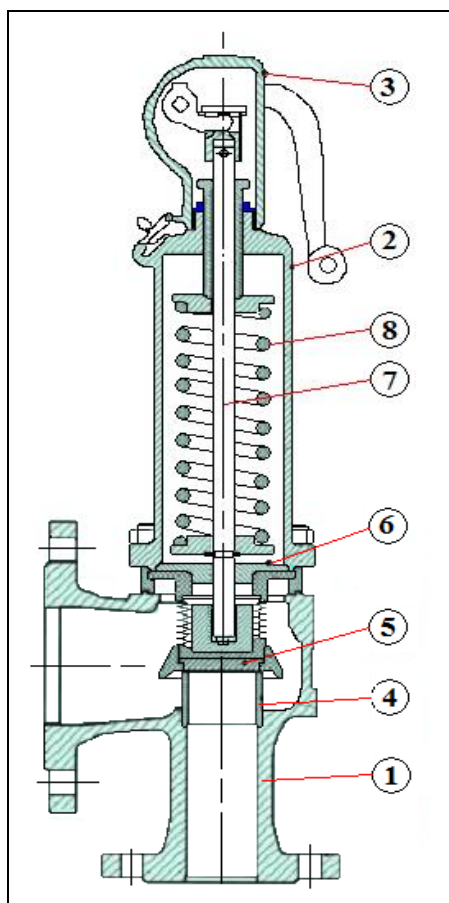


fig. 3.19. Valvola di sicurezza a molla, costr. BESA, ingresso DN25 – 250, uscita DN25 – DN400, pressione di intervento fino a 400bar, temperatura massima 550C. Mat: corpo valvola, cappello e cappuccio: ghisa, acciaio al carbonio, acciaio legato, acciaio inox. Mat. bocaglio, otturatore, sede ed asta: acciaio inox. Mat. piattello guida: ghisa, acciaio inox. Mat. molla: acciaio al carbonio, acciaio legato, acciaio inossidabile. <http://www.besa.it/>

LEGENDA. 1) corpo valvola, 2) cappello, 3) cappuccio, 4) bocaglio, 5) otturatore, 6) piattello guida, 7) asta, 8) molla

Nello schema di principio del funzionamento dei riduttori di pressione pilotati del tipo di fig. 3.21, le membrane sono molto più sensibili alle variazioni di pressione. La maggior precisione di regolazione è dovuta al posizionamento della presa d'impulso all'esterno della valvola, dove le turbolenze sono minori. Questo riduttore consente anche la flessibilità d'impiego di differenti tipi di valvole pilota (a comando per pressione e temperatura, a comando pneumatico, con solenoide o varie combinazioni di essi). Regolando la tensione della molla antagonista (quella in alto in fig. 3.21) si varia la pressione ridotta del fluido in uscita. Con l'adozione della valvola pilota, praticamente si neutralizzano le oscillazioni della pressione ridotta, particolarmente quelle dovute a improvvise variazioni di portata o di pressione a monte della valvola principale.

In fig. 3.22 è rappresentato un riduttore di grande portata, adatto al controllo di liquidi, gas e vapori. In esso la pressione differenziale tra monte e valle serve da energia ausiliaria. Perciò, per azionare il regolatore, essa deve essere superiore ad un valore mini-

mo indicato dal costruttore e variabile inversamente al diametro nominale della valvola. La valvola pilota determina il funzionamento del regolatore, (che può quindi essere fatto funzionare anche come valvola di sfioro, se il pilota si apre all'aumentare della pressione a valle). Il modello di riduttore di pressione rappresentato è un regolatore ad una sola sede, che richiede poca manutenzione, la cui valvola pilota permette una buona precisione di regolazione, ed il cui valore di settaggio è facilmente ottenuto agendo sulla valvola pilota esterna. Come si vede, le due flange di collegamento sono coassiali.

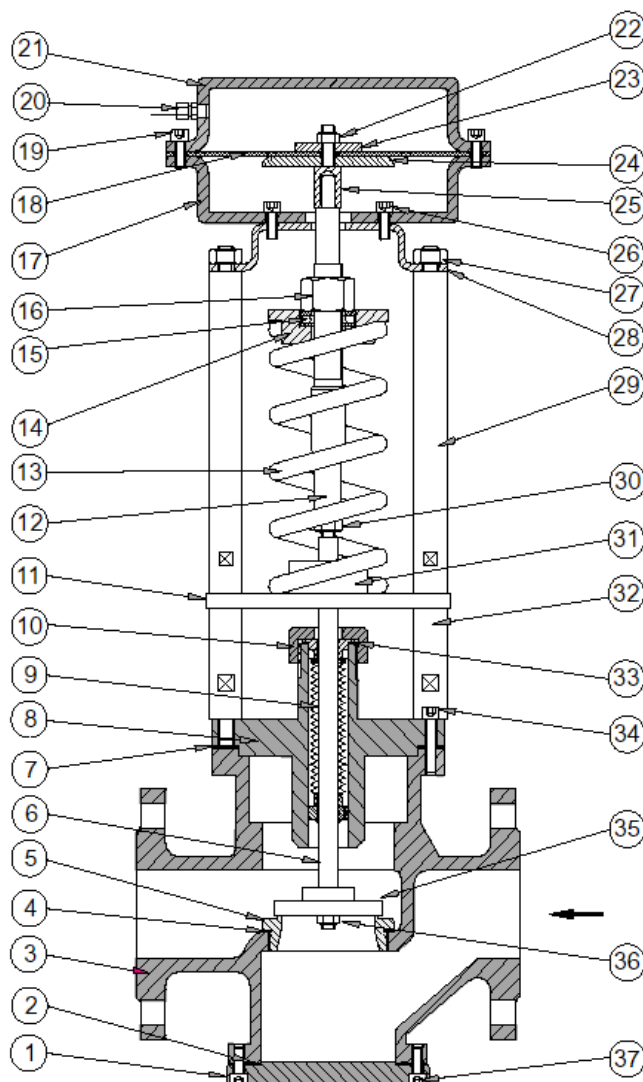


fig. 3.20. Riduttore di pressione, costr. BESA, ingresso DN25 – 250, uscita DN25 – DN400, pressione di esercizio fino a 400bar, temperatura massima 550C. Materiali: ghisa, bronzo, acciaio al carbonio, acciaio inox.

<http://www.besa.it/>

LEGENDA: 1) coperchio inferiore, 2) guarnizione O-ring, 3) corpo valvola, 4) guarnizione piana, 5) sede, 6) asta, 7) guarnizione piana, 8) coperchio superiore, 9) gruppo soffiello, 10) controdado, 11) supporto colonne, 12) asta servomotore, 13) molla, 14) piattello molla, 15) sfere, 16) dado di taratura, 17) coperchio inferiore servomotore, 18) membrana, 19) bulloni custodia molla, 20) presa d'impulso esterna, 21) coperchio superiore servomotore, 22) controdado, 23) piatto superiore membrana, 24) piatto inferiore membrana, 25) guida membrana, 26) bulloni custodia molla, 27) bullone colonna, 28) supporto servomotore, 29) colonna superiore, 30) controdado, 31) supporto molla, 32) colonna inferiore, 33) guarnizione piana, 34) bulloni custodia molla, 35) portaotturatore, 36) controdado, 37) bulloni custodia molla.

La pressione a valle **p2** deve essere regolata al valore di consegna. Il fluido attraversa la valvola nel senso della freccia. Evidentemente, la portata di fluido che passa tra l'otturatore **3** e la relativa sede **2** è determinata dalla posizione dell'otturatore. La pressione di comando della valvola di regolazione è determinata dall'azione della valvola pilota **5**. Poiché la valvola pilota chiude all'aumentare della pressione a valle **p2**, la valvola principale è perfettamente equilibrata. Se la pressione motrice **ps** aumenta, essa provoca la chiusura progressiva dell'otturatore **3**. Quando la valvola pilota **5** è chiusa, $p_s = p_1$, ed il regolatore di pressione si chiude anch'esso.

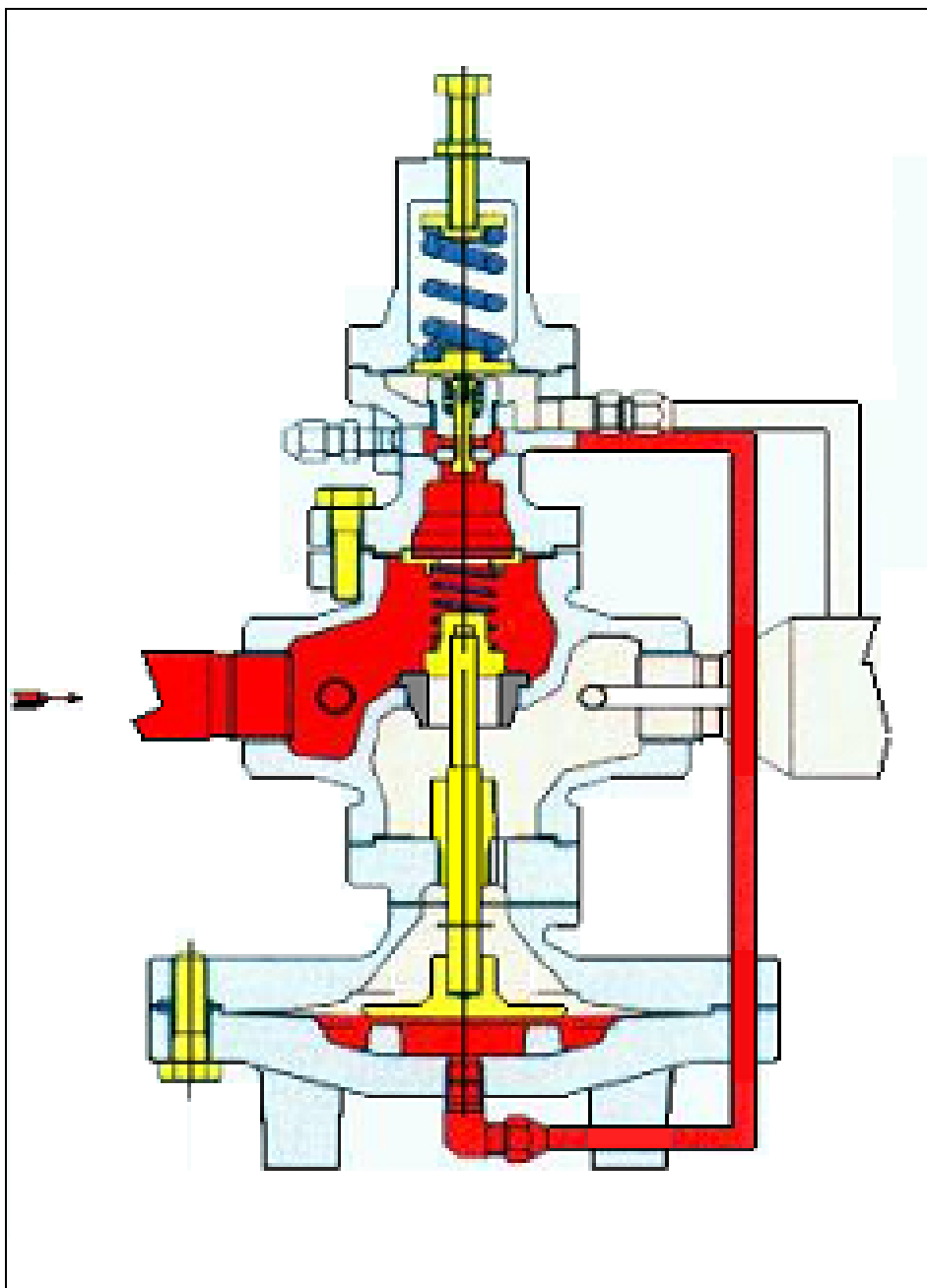


fig. 3.21. Riduttore di pressione auto-servoazionato con valvola pilota e membrane doppie per servizio Vapore. Costr. ARMSTRONG <http://www.armstrong-italiana.it/prodarmstrong/>. Ingresso 1÷20bar, pressione ridotta regolabile nei campi 0,07÷0.2bar, 0.2÷1.5bar, 1÷14bar, temperatura massima 220C, $\Delta p_{\min} = 0.5\text{bar}$. Mat: corpo ghisa, sedi valvola principale e pilota inox AISI 420, membrane AISI 301.

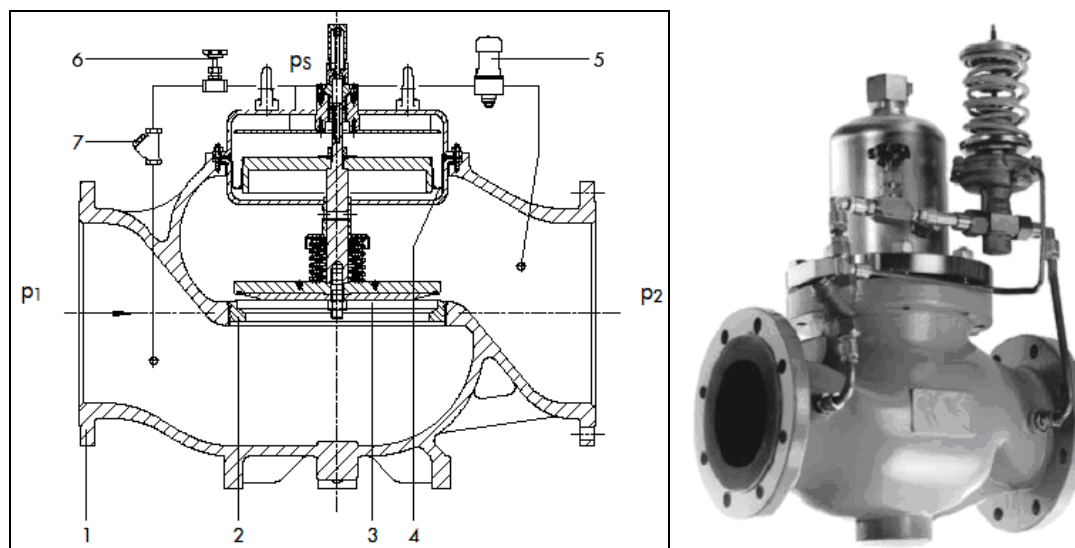


fig. 3.22. Schema di principio di un riduttore di pressione di grandi dimensioni (fino a DN400). Costr. SAMSON, con pilota esterno.

http://www.samson.de/pdf_in/t25520fr.pdf

LEGENDA: 1) corpo valvola, 2) sede dell'otturatore, 3)otturatore, 4) membrana motrice, 5)valvola pilota, 6) rubinetto a spillo, 7) valvola di ritegno.

3.1.4.6. Installazione delle Valvole

Le valvole devono essere assicurate alla tubazione il più efficacemente possibile, in modo che le forze di attuazione siano trasmesse direttamente, e non attraverso la tubazione. Le valvole possono essere sostenute da mensole, le quali possono essere inglobate nel loro disegno, come in quelle col corpo di materiale plastico, in modo che il collegamento sia in ogni caso sicuro. Tali mensole possono essere usate anche per sostenere i carichi della valvola ed il peso della tubazione. Deve essere esclusa ogni variazione di lunghezza, quindi ogni spostamento della valvola, applicando supporti fissi immediatamente a monte ed a valle della valvola.

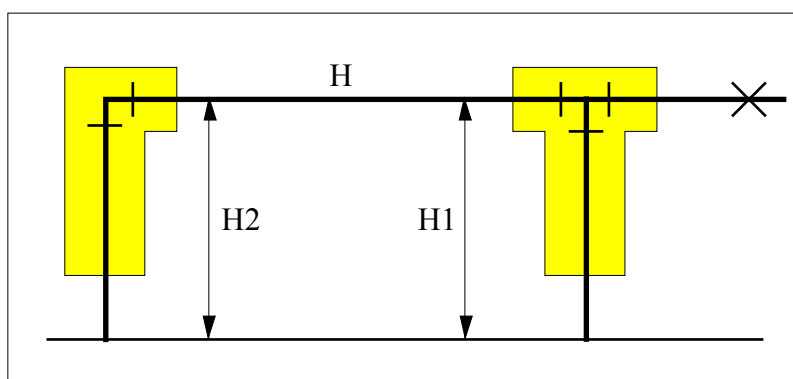


fig. 3.23. Montaggio delle sezioni flessibili sotto traccia, mediante imbottitura delle cavità libere.

Quando la tubazione è montata sotto traccia, le sezioni flessibili collegate ai cambiamenti di direzione od alle diramazioni devono essere imbottite lungo la lunghezza **H** prevista, come pure le curve, i gomiti o le diramazioni che le delimitano, come rappre-

sentato in fig. 3.23. Naturalmente, come imbottitura devono essere impiegati solamente materiali soffici, come la lana di vetro o di roccia, schiume, ecc.

Tuttavia, i tubi possono essere annegati direttamente sotto traccia, purché si esegua una verifica strutturale delle tensioni sui tronchi di tubo. Poiché la tensione assiale derivante dalla pressione interna è circa metà di quella circonferenziale, le tubazioni possono sopportare una tensione addizionale assiale limitata, prima di arrivare al sovraccarico. Lo stesso accade nelle sezioni comprese tra due punti fissi, dove non è stato previsto un gioco per far fronte alle variazioni di lunghezza, e per i quali tronchi deve ancora essere eseguita una verifica. In tali casi, la distanza tra i supporti dovrà essere ridotta in confronto ai valori normali, per prevenire l'inflessione delle tubazioni.

Infine, una particolare cura deve essere data alla chiusura delle tracce, evitando di lasciare cavità, che potrebbero costituire la causa di concentrazioni di tensioni, in condizioni sfavorevoli. Così, il cemento deve essere ricco, in modo che le interforze cemento-tubazione dovute alle variazioni di temperatura vengano trasferite al cemento in maniera sicura, senza determinare la rottura del punto fisso.

3.1.5. Il Problema del Colpo d'Ariete

Colpo d'ariete è il termine usato per descrivere le oscillazioni di pressione causate dai cambi di pressione nelle canalizzazioni attraversate da liquidi. Esso avviene ogni volta che si verifica una deviazione dallo stato di regime stazionario, per esempio quando la velocità del fluido è aumentata o diminuita, e può essere un transitorio od una oscillazione. Onde di pressione negative o positive possono essere generate in una delle situazioni seguenti:

- apertura o chiusura di una valvola,
- partenza od arresto di una pompa,
- cambio della velocità di una pompa,
- azione di un'onda di pressione in un serbatoio di alimentazione,
- presenza di aria o di gas intrappolate nel liquido.

Le onde di pressione si propagano lungo il tubo limitate solo dalla velocità del suono nel fluido, creando successive espansioni e contrazioni del tubo. Normalmente esse si attenuano, in quanto l'energia trascinata dall'onda progressivamente viene assorbita dagli attriti, secondo l'andamento di fig. 3.24.

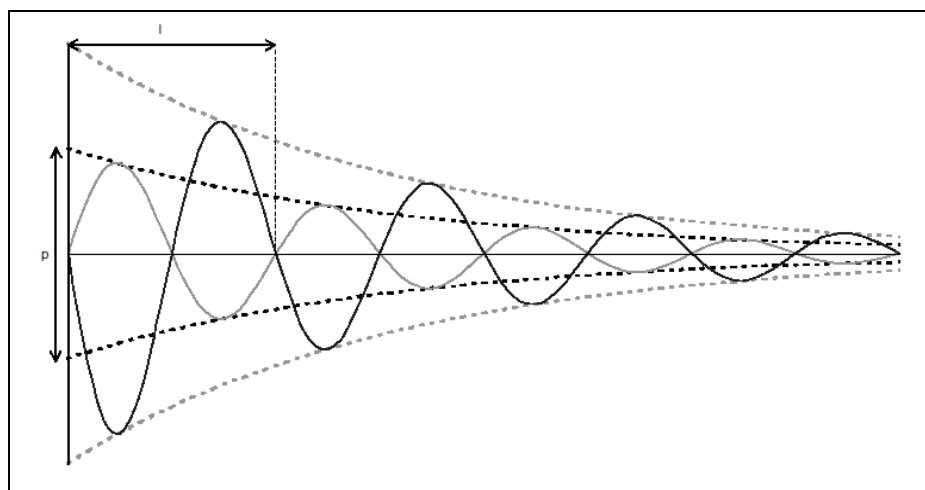


fig. 3.24. Smorzamento progressivo dell'onda di pressione dovuta a colpo d'ariete. l è la lunghezza d'onda, p è l'andamento della pressione.

L'onda di pressione creata al colpo d'ariete, in confronto a quella stabile nel canale, deve essere considerata in eccesso in confronto al carico idrostatico, e la pressione totale deve essere sostenibile dal tubo. Nel caso di andamenti oscillanti della pressione di colpo d'ariete, è richiesta estrema cautela, poiché un'eventuale risonanza delle oscillazioni del colpo d'ariete con una frequenza armonica del sistema può portare a danni catastrofici.

La sovrappressione massima aggiunta dal colpo d'ariete (ma anche tolta, potendo creare un carico esterno del canale) è funzione della velocità e del modulo di elasticità totale del fluido, delle dimensioni e dal modulo di elasticità del materiale del tubo. Essa può essere calcolata usando i seguenti passi:

A. determinazione della velocità dell'onda di pressione:

$$v_w = \sqrt{\frac{K}{\rho \cdot \left(1 + \frac{K \cdot d_i}{t \cdot E}\right)}} \quad (3.8)$$

dove:

v_w è la velocità dell'onda di pressione, in m/s,

K il modulo di elasticità totale del fluido, in Pa,

ρ la densità del fluido, in kg/m³,

E il modulo di elasticità della parete del tubo, in Pa,

d_i il diametro interno del tubo, in mm,

t lo spessore del tubo, in mm

Nei materiali plastici il modulo di elasticità E cambia con l'età e la temperatura, che, per un calcolo accurato del colpo d'ariete, quindi devono essere noti.

B. determinazione della massima ampiezza dell'onda di pressione causata dal Colpo d'Ariete:

$$\Delta p = v_w \cdot \Delta v \cdot \rho \cdot 10^{-5} \quad (3.9)$$

dove, oltre ai simboli comuni alla (3.8):

Δp variazione massima di pressione, in bar,

Δv variazione della velocità del fluido ($v_1 - v_2$) nel transitorio, in m/s,

v_1 velocità del fluido prima della variazione, in m/s,

v_2 velocità del fluido dopo la variazione, in m/s.

Tutti gli aumenti di pressione indotti da una riduzione della velocità del fluido hanno una corrispondente onda riflessa opposta (onda di vuoto). Se questa eccede la pressione statica minima di progetto, essa deve essere confrontata con la pressione di collasso, da valutare come fattore di sicurezza, nel quarto passo seguente.

C. determinazione della massima e minima pressione totale:

$$P_{\min}^{\max} = P \pm \Delta p \quad (3.10)$$

dove:

$P^{\max}$ è la massima pressione totale, in bar,

$P_{\min}$ la minima pressione totale, in bar,

P la pressione di esercizio di progetto, in bar,

Δp il contributo del colpo d'ariete, calcolato al passo precedente, in bar.

D. determinazione del coefficiente di sicurezza per la pressione totale massima o minima:

$$C^{\max} = \frac{\sigma \cdot 20 \cdot t}{P^{\max} \cdot (d_o - t)} \quad (3.11)$$

dove:

$C^{\max}$ è il coefficiente di sicurezza adimensionale,

σ la tensione tangenziale massima ammessa, in N/mm^2 ,

d_o il diametro esterno del tubo, in mm,

$P^{\max}$ la pressione totale massima calcolata al passo precedente, in bar.

Il valore della tensione circonferenziale massima può essere trovato dalle curve di regressione della fatica. Poiché la durata della maggior parte dei colpi d'ariete è dell'ordine dei secondi, il valore della tensione tangenziale ammissibile può essere letto dai grafici, come il valore corrispondente a 0.1h.

Al contrario, quando il colpo d'ariete oscillatorio crea un aumento di pressione, il sistema deve essere trattato come se un carico uguale alla pressione totale massima esistesse per tutta la vita del tubo.

E. valutazione del coefficiente di sicurezza. Se si prevedono colpi d'ariete poco frequenti, si possono adottare i valori usuali del coefficiente di sicurezza. Invece, se essi possono essere frequenti, la (3.11) deve fornire valori almeno pari a 3.

Se il calcolo con la (3.11) non soddisfa a tali criteri di buona tecnica, si dovrà considerare l'accorgimento di aumentare lo spessore del tubo, oppure di adottare misure efficaci di riduzione della pressione di colpo d'ariete (ad esempio, l'adozione di valvole motorizzate più lente, di serbatoi di assorbimento delle onde di pressione, pompe ad avviamento progressivo, ecc.).

Quando si usano valvole motorizzate, è comune installare valvole con durata della chiusura maggiore della durata del periodo critico T_c del colpo d'ariete:

$$T_c = \frac{2 \cdot L}{v_w} \quad (3.12)$$

dove:

T_c è il periodo critico del colpo d'ariete, in s,

L la lunghezza del tubo, in m,

v_w la velocità dell'onda di pressione calcolata con la (3.7), in m/s.

Esempio

Un tubo di alimentazione d'acqua a 10bar, parte da un serbatoio di accumulo ed è collegato ad una valvola di intercettazione, comandata idraulicamente da un controllo remoto. Il tempo di chiusura della valvola è 1.5s e la portata d'acqua di progetto è di $35\text{m}^3/\text{h}$.

Le caratteristiche del tubo sono:

- materiale: polipropilene PP-H,
- diametro esterno, $d_o = 110$,
- spessore, $t = 10$
- lunghezza, $L = 500\text{m}$,
- modulo di elasticità, $E = 800\text{N/mm}^2 = 800 \cdot 10^6 \text{Pa}$,
- densità dell'acqua $\rho = 10^3 \text{kg/m}^3$,
- modulo di elasticità totale dell'acqua $K = 2.05\text{GPa}$

A. velocità dell'onda di pressione:
$$v_w = \sqrt{\frac{2.05 \cdot 10^9}{10^3 \cdot \left(1 + \frac{90 \cdot 2.05 \cdot 10^9}{10 \cdot 800 \cdot 10^6}\right)}} = 292\text{m/s}$$

3. SERVIZI AZIENDALI

B. velocità del fluido prima della variazione:
$$v_1 = \frac{35/3600}{\pi \cdot \left(\frac{0.09}{2}\right)^2} = 1.53 \text{ m/s}$$

Si assume che la velocità si annulli con la chiusura della valvola, quindi che $\Delta v = 1.53 \text{ m/s}$.

La variazione di pressione risulta: $\Delta p = 292 \cdot 1.53 \cdot 10^3 \cdot 10^{-5} = 4.47 \text{ bar}$

C. pressione massima: $p^{\max} = 10 + 4.47 = 14.47 \text{ bar}$

La pressione differenziale è minore di quella di esercizio, quindi il tubo non va in depressione, e non occorre considerare la pressione minima.

D. determinazione del coefficiente di sicurezza, valutando che la curva di regressione alla fatica del PP-H fornisce, al valore di 0.1h, il valore di $\sigma = 17.5 \text{ N/mm}^2$:

$$C^{\max} = \frac{\sigma \cdot 20 \cdot t}{(d_o - t) \cdot P^{\max}} = \frac{17.5 \cdot 20 \cdot 10}{(110 - 10) \cdot 14.47} = 2.42$$

E. analisi del coefficiente di sicurezza. Il valor minimo del coefficiente di sicurezza per il materiale plastico PP-H può essere scelto pari a 2.0, quindi il valore calcolato può essere accettato se la tubazione non è soggetta a frequenti colpi d'ariete. Dunque, se si è in presenza di colpi d'ariete frequenti, occorre portare il coefficiente di sicurezza a valori superiori a 3, come buona regola dell'arte. A questo scopo, si determina il periodo critico:

$$T_c = \frac{2 \cdot L}{v_w} = \frac{2 \cdot 500}{292} = 3.42 \text{ s}$$

Perciò, ad esempio, si deve chiudere la valvola in un tempo superiore a quello assunto di 1.5s, e ridurre, così, il periodo critico del colpo d'ariete.

3.1.6. Tecnica di Installazione degli Impianti

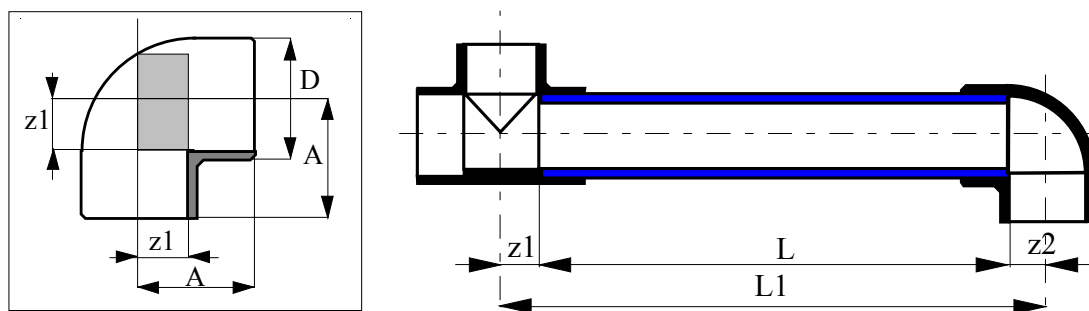
3.1.6.1. Collegamenti col Metodo della Dimensione z

La pressione della competizione concorrenziale e gli alti costi della manodopera rendono essenziale l'installazione efficiente del piping. Perciò, preliminarmente deve essere adottato un metodo che sostituisca il noioso lavoro di taglio a misura di ogni tubo alla volta con un modo rapido e preciso di preparazione di tutti i gruppi di tubi, in accordo col progetto dell'impianto.

Le regole più importanti sono:

- studiare la sequenza dei diametri e delle lunghezze dei tratti di tubo. Le dimensioni **zi** dei raccordi sono individuate ed impiegate per determinare la lunghezza effettiva dei tubi. Allo scopo, le tabelle dei cataloghi contengono i dati più importanti dei raccordi,
- la lunghezza del tubo è determinata utilizzando lo schema di fig. 3.25, dove la lunghezza tra i raggi dei raccordi viene ridotta della dimensione **zi** dei raccordi stessi. Nell'esempio di fig. 3.25, per semplicità è indicata la procedura per tubi e raccordi ad incollare e la lunghezza effettiva del tubo risulta:

$$L = L_1 - z_1 - z_2,$$

fig. 3.25. Metodo della dimensione z per determinare la lunghezza effettiva del tubo.

3.1.6.2. Espansione e Contrazione dei Tubi

I materiali metallici ed ancor più quelli plastici presentano generalmente coefficienti di dilatazione lineare non trascurabili, come rappresentato in tab. 3.XVI. in particolare, i materiali plastici presentano un coefficiente di dilatazione lineare fino a 17 volte maggiore di quello dell'acciaio.

Quindi, al variare della temperatura, la lunghezza dei tronchi di tubazione, che è la loro dimensione maggiore, viene modificata. I tubi installati fuori traccia, specialmente quelli esposti a forti variazioni di temperatura, richiedono la modifica delle loro dimensioni per prevenire extratensioni sui tubi. La lunghezza può essere modificata mediante Sezioni Flessibili e Compensatori di Dilatazione.

tab. 3.XVI. Coefficienti di dilatazione lineare di alcuni materiali [$\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

Materiale	dilatazione lineare	Materiale	dilatazione lineare
ABS	$10 \cdot 10^{-5}$	Mattoni	$0,6 \cdot 10^{-5}$
Acciaio al carbonio	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Mercurio	$18,1 \cdot 10^{-5}$
Acciaio inox	$1,7 \cdot 10^{-5}$	Molibdeno	$0,5 \cdot 10^{-5}$
Alluminio	$2,4 \cdot 10^{-5}$	Nichel	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Alluminio leghe	$2,3 \cdot 10^{-5}$	Oro	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Antimonio	$1,1 \cdot 10^{-5}$	Ottone	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Argento	$1,9 \cdot 10^{-5}$	Piombo	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Bismuto	$1,3 \cdot 10^{-5}$	Platino	$0,9 \cdot 10^{-5}$
Bronzo (7,9%)	$1,8 \cdot 10^{-5}$	Polietilene AD	$20 \cdot 10^{-5}$
Bronzo (14%)	$1,8 \cdot 10^{-5}$	Polietilene BD	$20 \cdot 10^{-5}$
Bronzo fosforoso	$1,8 \cdot 10^{-5}$	Polipropilene	$12 \cdot 10^{-5}$
Cadmio	$3,1 \cdot 10^{-5}$	PVC	$7 \cdot 10^{-5}$
Cobalto	$1,8 \cdot 10^{-5}$	Rame	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Conglomerato cementizio	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Silicio	$0,8 \cdot 10^{-5}$
Cromo	$0,8 \cdot 10^{-5}$	Stagno	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Ferro	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Tungsteno	$0,5 \cdot 10^{-5}$
Ghisa comune	$1,1 \cdot 10^{-5}$	Vetro	$0,8 \cdot 10^{-5}$
Granito	$0,9 \cdot 10^{-5}$	Vetro Pyrex	$0,3 \cdot 10^{-5}$
Legname fibra dolce	$0,4 \cdot 10^{-5}$	Vetro temperato	$0,9 \cdot 10^{-5}$
Legname forte	$5,8 \cdot 10^{-5}$	Volframio	$0,5 \cdot 10^{-5}$
Magnesio	$2,2 \cdot 10^{-5}$	Zinco	$3,1 \cdot 10^{-5}$
Marmi	$0,7 \cdot 10^{-5}$		

3.1.6.3. Sezioni Flessibili

Le Sezioni Flessibili sono la soluzione più comune, essendo la più semplice ed economica. Quindi il loro calcolo e gli accorgimenti per l'installazione sono qui descritti in dettaglio.

Il modulo di elasticità dei materiali costituenti le canalizzazioni permettono che le variazioni di lunghezza dei tubi siano consentite mediante la deformazione di particolari sezioni, dove i supporti sono posizionati in modo tale da prendere vantaggio dalla naturale flessibilità del materiale. La lunghezza di tali sezioni è determinata dal diametro della tubazione e dalla grandezza dell'espansione termica da compensare. Per semplificare il progetto e l'installazione, un terzo fattore, la temperatura della parete di applicazione, non verrà preso in considerazione, poiché la maggior parte dei tubi è installata in un ambiente con temperatura poco variabile intorno ai 20°C.

Calcolo della variazione di lunghezza del tronco. Le sezioni flessibili sono naturalmente presenti nell'impianto ad ogni derivazione o congiungimento dei flussi, come rappresentato in fig. 3.26. La distanza H cui disporre la sezione flessibile, per assorbire la variazione ΔL della lunghezza non deve creare impedimenti con la presenza di supporti, protuberanze di pareti, in generale di ostacoli allo spostamento ΔL . Il primo passo per calcolare la lunghezza richiesta della sezione flessibile è determinare l'ammontare dell'allungamento ΔL :

$$\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot \delta$$

dove: ΔL è la variazione di lunghezza,

L la lunghezza del tronco di tubo per il quale deve essere determinata la deformazione ΔL , in m,

ΔT la differenza tra la temperatura durante l'installazione e quella massima e minima di esercizio, in K,

δ il coefficiente di dilatazione lineare, in mm/(m · K).

Se la temperatura di esercizio è maggiore di quella di installazione, il tubo in esercizio diventerà più lungo. Quindi, la temperatura di installazione deve essere inserita nei calcoli, insieme con quella massima e minima di esercizio.

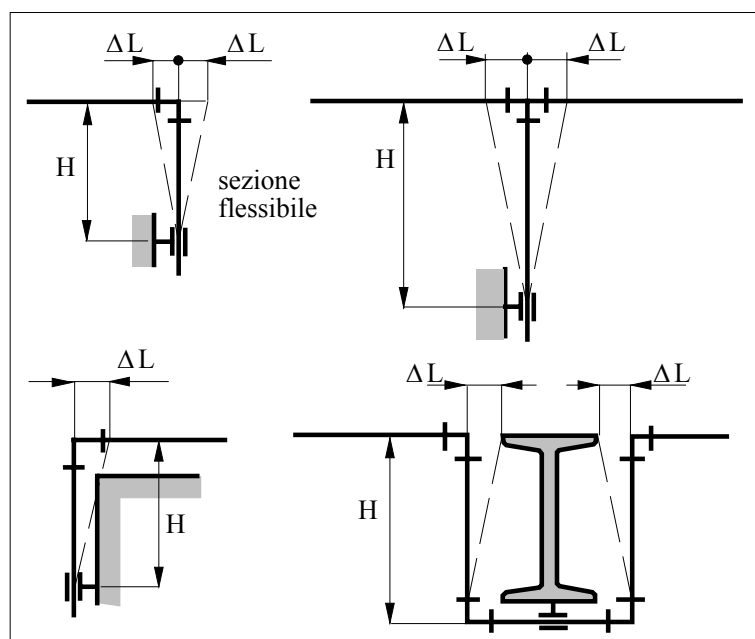


fig. 3.26. Compensazione delle dilatazioni termiche mediante Sezioni Flessibili.

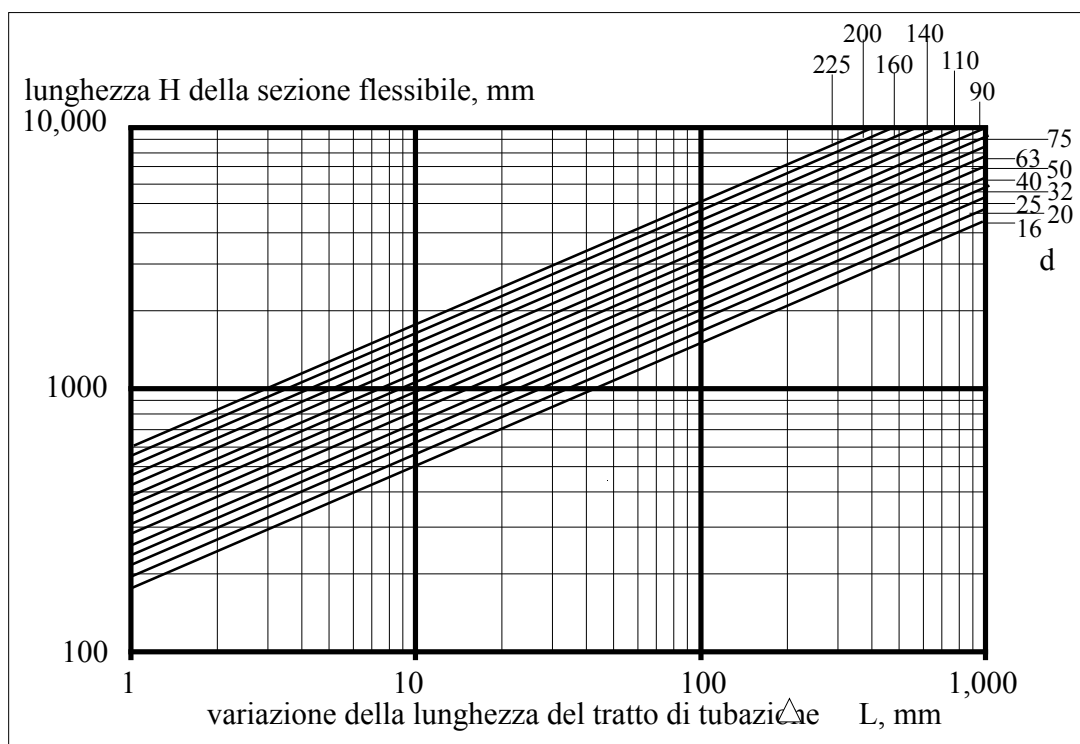


fig. 3.27. Abaco di Progettazione della Sezione Flessibile, per materiale plastico ABS.

Calcolo della lunghezza H della Sezione Flessibile. I valori necessari per determinare tale lunghezza sono:

- la variazione massima di lunghezza ΔL dalla posizione **0**, cioè dalla posizione in cui il tubo è stato installato, ricordando che il tubo può sia contrarsi, sia espandersi,
- il diametro del tubo, in mm,

Ora può essere utilizzato un abaco del tipo di fig. 3.27, il quale si riferisce specificamente ai tubi di materiale plastico ABS.

Le variazioni di lunghezza dei tronchi di tubazione devono essere sempre accompagnati all'uso appropriato di supporti fissi. Le figure seguenti mostrano come le variazioni di lunghezza possono essere distribuite in maniera ottimale.

Esempio

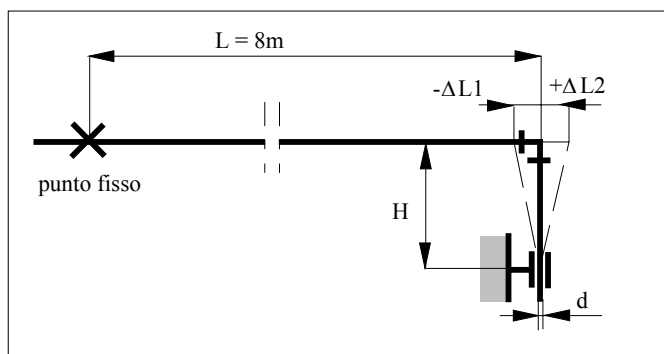
Si abbia un tratto di tubo di ABS DN50 avente la lunghezza utile ai fini della determinazione degli allungamenti, cioè a partire dal punto fisso più prossimo, pari ad $L = 8\text{m}$. Le temperature siano:

- installazione, $T_v = 20\text{C}$,
- massima di esercizio, $T_2 = 35\text{C}$,
- minima di esercizio, $T_1 = -20\text{C}$.

l'espansione del tratto in esercizio è: $+\Delta L_2 = L \cdot (T_2 - T_v) \cdot \delta = 8 \cdot 15 \cdot 0.10 = 12\text{mm}$

la contrazione durante il raffreddamento in esercizio è $-\Delta L_1 = L \cdot (T_v - T_1) \cdot \delta = 32\text{mm}$

La maggiore variazione di lunghezza deve essere presa in conto per calcolare la lunghezza della Sezione Flessibile, che in questo caso si verifica durante il raffreddamento.



Entrando nell'abaco di fig. 3.27, si ricava che la lunghezza deve essere almeno pari a 1.300mm.

La lunghezza ΔL per ogni variazione termica può essere calcolata anche mediante la:

$$H = 32.7 \cdot \sqrt{d \cdot \Delta L} \quad (3.13)$$

con tutte le lunghezze espresse in millimetri.

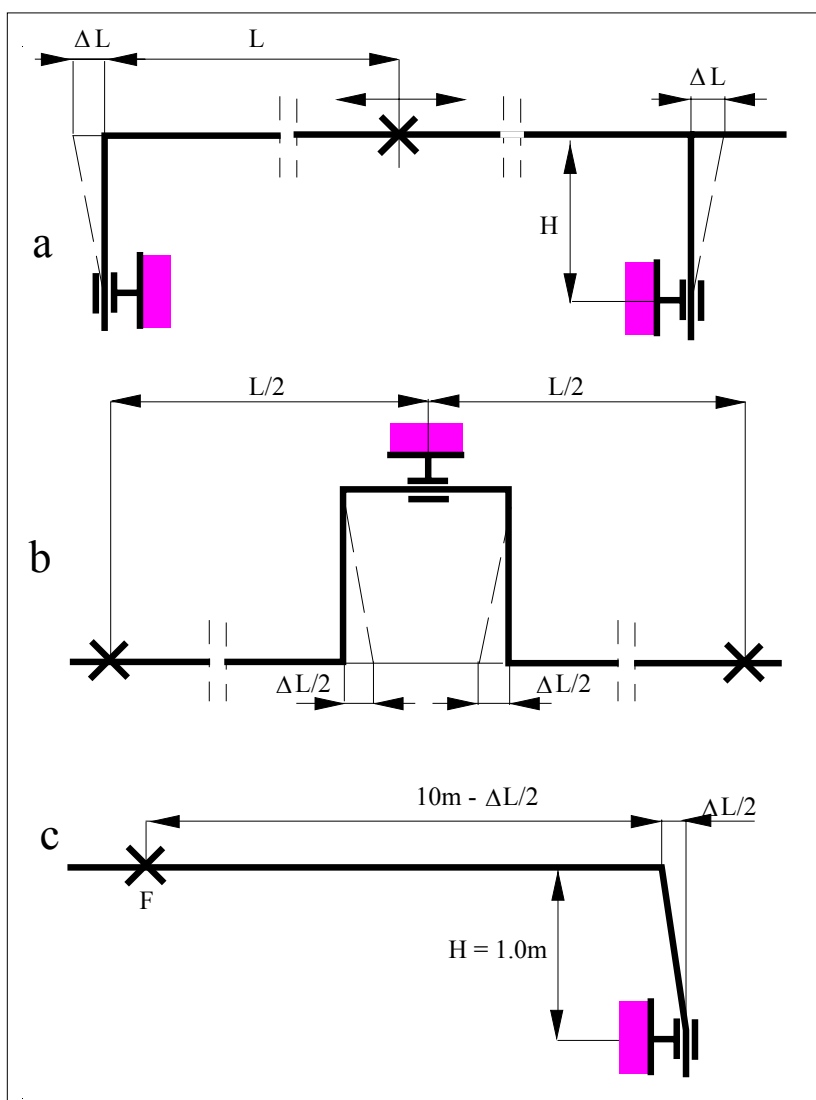


fig. 3.28. Posizionamento dei supporti fissi e scorrevoli per assorbire le dilatazioni termiche. a) posizionamento di supporti fissi e scorrevoli, b) assorbitore a lira, c) pretensionamento della sezione flessibile.

Esempio

In accordo con la fig. 3.28c, i dati dell'installazione siano i seguenti: tubazione di ABS, DN50, lunghezza del tratto 10m, temperatura di installazione 15C, temperatura massima di esercizio 40C. L'allungamento risulta: $\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot \delta_{ABS} = 10 \cdot 25 \cdot 0.10 = 25\text{mm}$

La sezione flessibile che fa fronte a 25mm di allungamento dal punto 0 richiede una lunghezza H di circa 1.150mm, come risulta dall'abaco di fig. 3.27.

Se la sezione flessibile è precaricata di $\Delta L/2$, la sua lunghezza può essere ridotta a circa 800mm, come risulta dall'abaco di fig. 3.27 per un ΔL di 12.5mm.

Il precarico della sezione flessibile permette dunque di ridurre la lunghezza di installazione, quando lo spazio disponibile è ridotto. Inoltre, il precarico riduce l'inflessione della sezione flessibile durante l'esercizio, migliorando anche l'aspetto visivo dell'impianto.

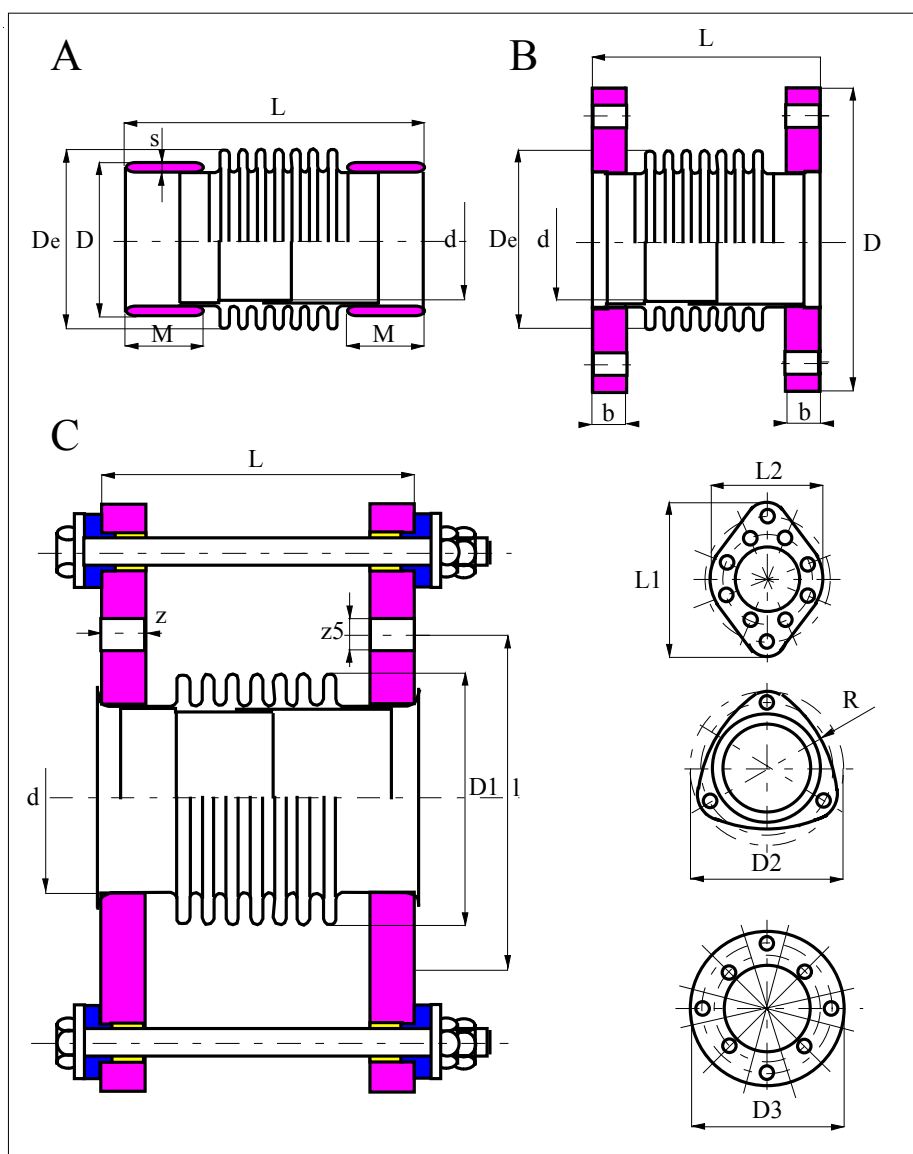


fig. 3.29. Compensatori di dilatazione a soffiutto di acciaio inox TUBIFLEX. A) tipo AS, assiali a manicotto, con convogliatore interno, B) tipo AS FF, con flange di acciaio al carbonio, C) tipo AVT, a soffiutto pretensionato, con flange di acciaio al Carbonio e guide di acciaio zincato.

<http://www.tubiflex.com/ITA/default.htm>

Assorbitori a lira possono essere installati per tener conto delle dilatazioni termiche quando le Sezioni Flessibili non possono essere installate in corrispondenza dei cambiamenti di direzione o delle derivazioni, oppure se si devono considerare le forti variazioni di lunghezza di un tubo rettilineo molto esteso, come rappresentato in fig. 3.26d e fig. 3.28b. Inoltre, in situazioni particolarmente difficili, con grandi variazioni di lunghezza in una sola direzione, è possibile pretensionare le sezioni flessibili durante l'installazione (e, quindi, accorciare la loro lunghezza), come illustrato in fig. 3.28c e nell'esempio seguente.

3.1.6.4. Compensatori a Soffietto

Alternativamente ai compensatori di fig. 3.28, e sempre per evitare che le sollecitazioni di progetto delle canalizzazioni siano sommate a quelle dovute alla dilatazione termica, si può provvedere al loro assorbimento mediante l'inserimento di adatti giunti di dilatazione *a soffietto* (riservato quasi esclusivamente al caso di tubazioni metalliche).

Le caratteristiche sono tali da poter compensare dilatazioni da 50 a 1.400mm, sia in senso assiale, sia in senso laterale. Le pressioni nominali arrivano a 40bar, alla temperatura di 300C.

I modelli a flangia possono essere dotati di guida esterna supplementare, come in fig. 3.29C, con soffietto in pretensione, per sfruttare appieno la corsa di dilatazione offerta.

tab. 3.XVII. Estratto del catalogo TUBIFLEX. Compensatori di dilatazione a soffietto di acciaio inox, del tipo AS di fig. 3.29.

<http://www.tubiflex.com/ITA/default.htm>

DN	corsa $\pm \epsilon$	L	M	D	s	De	d	rigidezza	area me- dia A	peso
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	N/mm	cm ²	kg
50	± 21	257	40	60.3	3.2	76	47	44	35	1.2
	± 27	287				76	47	35		1.4
65	± 25	257	40	76.1	3.2	95	63	40	55	1.6
	± 31	287				95	63	32		1.7
80	± 30	289	60	88.9	3.2	114	79	31	79	2.1
	± 35	304				114	76	27		2.3
100	± 30	289	60	114.3	4.0	138	103	37	121	3.1
	± 38	314				138	100	30		3.4
125	± 32	274	60	139.7	4.0	169	123	34	181	3.8
	± 43	309				169	123	26		4.2
	± 66	384				170	123	38		6.4
150	± 33	278	60	168.3	4.5	198	150	40	257	5.1
	± 47	323				198	150	28		5.7
	± 67	398				199	150	41		8.5

3.2. DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA INDUSTRIALE

In uno stabilimento industriale, l'acqua può essere utilizzata per usi industriali, igienici ed alimentari e di sicurezza antincendio. Secondo le buone regole dell'arte e con rarissime eccezioni, nella distribuzione tali reti devono essere tenute distinte.

Nel caso degli impianti antincendio, eccezionalmente la rete può essere alimentata da quella dell'acqua potabile o di quella industriale, purché siano assicurate pressione, portata e continuità di servizio, come richiesto dalle norme di sicurezza antincendio.

3.2.1. Scelta del Serbatoio di Accumulo e sua Capacità.

L'acqua industriale è quella che, nell'ambito di uno stabilimento, è utilizzata come:

- mezzo di raffreddamento negli impianti e processi di lavorazione,
- materia prima nelle lavorazioni che richiedono acqua per lo sviluppo di reazioni o produzioni,
- mezzo di lavaggio o solvente,
- agente meccanico negli impianti, apparecchiature e macchine idrauliche,
- produzione di vapore e trasporto di calore,
- preparazione di bagni,
- mezzo di trasferimento di materie prime o di scarto, sotto forma di slurry e sospensioni in genere,
- raffrescamento ed umidificazione dell'aria,
- abbattimento di polveri, gas o nebbie.

L'approvvigionamento della rete di acqua industriale con acqua potabile è un'assoluta eccezione. Invece, le fonti più comuni di alimentazione dell'acqua industriale sono quelle naturali: mare, fiumi, canali, laghi e falde sotterranee.

Prelevata da tali fonti, viene prima depurata dalle sospensioni di solidi e liquidi immiscibili, poi trattata chimicamente e quindi immessa nella rete. Per ragioni di economia di installazione, nel caso in cui i consumi, ma anche se le possibilità di alimentazione, siano variabili in modo sensibile, è opportuno ricorrere a serbatoi di accumulo.

I più importanti (anche per capacità) sistemi di accumulo dell'acqua sono costituiti da serbatoi sopraelevati. L'acqua, proveniente dalla fonte di alimentazione, viene pompata a portata circa costante, mentre il prelievo può essere molto variabile, anzi il calcolo del serbatoio tiene conto di ogni evenienza: punte di assorbimento, interruzioni di rifornimento, interventi antincendio, variabilità delle richieste del ciclo tecnologico, ecc. I serbatoi sopraelevati possono avere forme molto diverse, cilindrica, sferica, a fungo, ecc. e la loro altezza da terra deve essere scelta in modo che l'acqua arrivi alle utenze alla pressione richiesta, tenuto conto delle perdite di carico della rete di distribuzione.

Come detto, il serbatoio ha anche la funzione di riserva d'acqua (principalmente antincendio) e l'altezza del fondo sull'utenza più elevata non dovrebbe essere minore di 30m, al fine di assicurare una pressione sufficiente al buon funzionamento dell'impianto. Lo schema del piping di un serbatoio è rappresentato in fig. 3.30. La tubazione di alimentazione arriva nella parte alta del serbatoio. Quella di captazione dell'acqua industriale parte da un'altezza tale da lasciare sempre disponibile nel serbatoio un volume d'acqua di circa $1/4 - 1/3$ della capacità complessiva, che rimane costantemente immagazzinata a disposizione della rete antincendio, la cui presa è sistemata vicino al fondo del serbatoio. Naturalmente, è presente il tubo di scarico del troppo pieno, oltre il pelo libero, in alto del serbatoio, ed un altro tubo di fondo, collegato a quello di troppo pieno

attraverso una saracinesca, per lo svuotamento totale del serbatoio, in caso di emergenza o manutenzione. Sono previsti gli opportuni giunti di dilatazione.

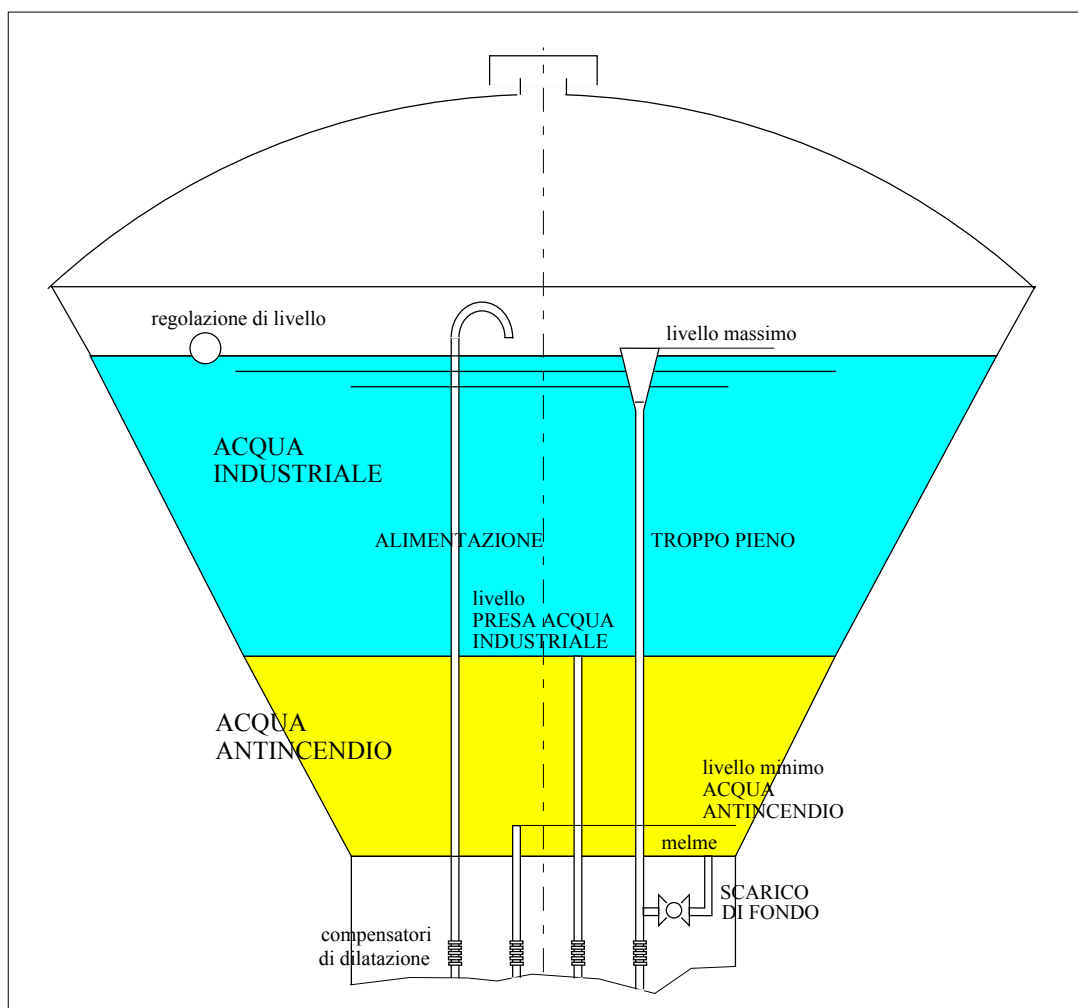


fig. 3.30. Schema del piping di un serbatoio sopraelevato.

Un altro sistema di accumulo dell'acqua industriale consiste in una vasca di cemento armato interrata o seminterrata, del tipo di fig. 3.31, dalla quale l'acqua viene pompata alle utenze dello stabilimento. Tale esecuzione è adatta ai climi freddi, in quanto è protetta naturalmente dai pericoli del gelo.

Si può ricorrere anche a serbatoi metallici fuori terra, che hanno il vantaggio di un costo minore e di avere gran parte del piping in vista.

La capacità del serbatoio di accumulo deve essere tale da assicurare la fornitura dell'acqua occorrente nei periodi di punta, mentre la pompa di alimentazione della vasca continua a pompare la portata media (riferita alla media giornaliera), oppure da assicurare l'intera portata richiesta, in mancanza di alimentazione del serbatoio.

La valutazione della capacità del serbatoio dell'acqua industriale presuppone la conoscenza dell'andamento dei consumi durante il tempo giornaliero di lavoro dello stabilimento. Infatti, supposto noto tale andamento, ad esempio come rappresentato in fig. 3.32, si può facilmente risalire alla portata da richiedere alla pompa di alimentazione, semplicemente integrando il diagramma dei consumi e dividendo il consumo giornaliero totale per il numero di ore di esercizio dello stabilimento. Congiungendo l'origine

dell'istogramma col punto terminale **P** della curva integrale, si tracciano le parallele alla media più distanti tra loro, tangenti alla spezzata integrale. Queste due parallele individuano due punti di intercetta sulla verticale condotta per l'estremo del periodo di esercizio, la cui distanza verticale rappresenta, nella stessa scala integrale, la capacità minima che il serbatoio deve accumulare per l'alimentazione dell'acqua industriale.

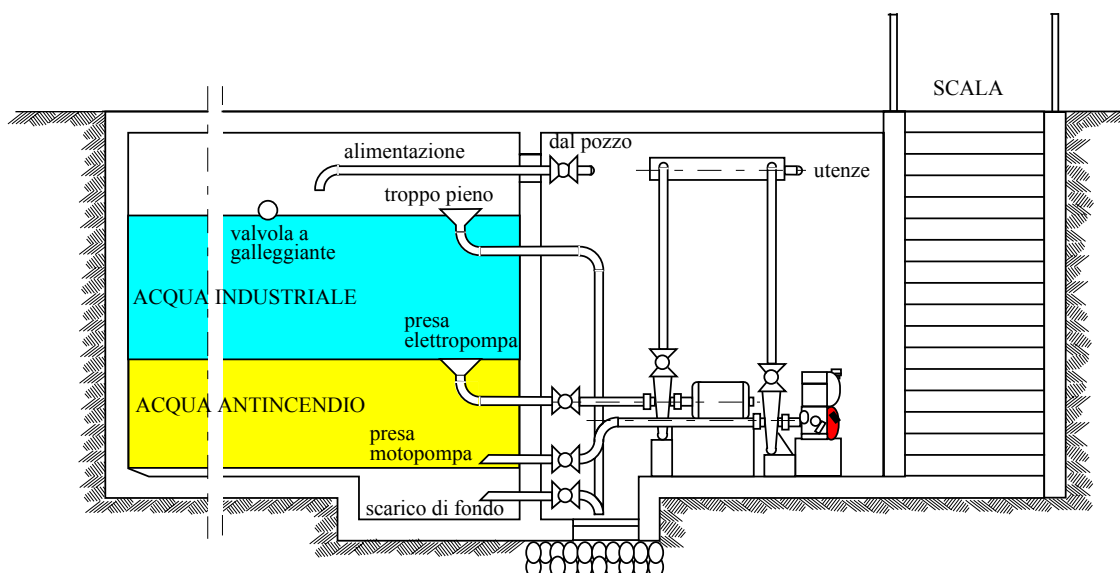


fig. 3.31. Vasca interrata di accumulo e distribuzione dell'acqua industriale.

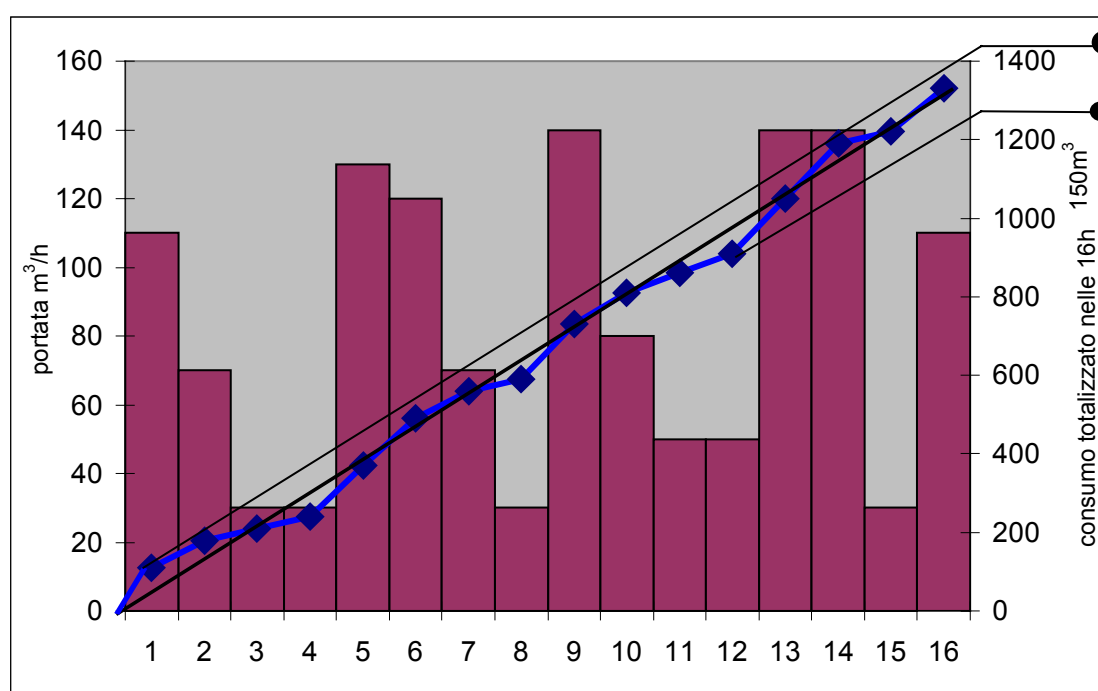


fig. 3.32. Determinazione della capacità minima del serbatoio di accumulo di fig. 3.30 e fig. 3.31.

Per sicurezza, tale capacità viene adeguatamente aumentata per tener conto di eventuali richieste d'acqua industriale non programmate nel diagramma dei consumi, oppure

di un'interruzione dell'alimentazione, o, infine, per tener conto di prossimi ampliamenti dell'impianto.

3.2.2. Progetto ed Installazione di un Autoclave

Nei casi in cui non sia richiesta l'installazione di un serbatoio di accumulo, ad esempio per la bassa quantità d'acqua richiesta, ma sia ancora necessario provvedere una pressione relativamente costante nella rete di alimentazione, si può ricorrere all'installazione di un'autoclave.

L'autoclave in un serbatoio in pressione, allacciato alla rete di alimentazione attraverso una pompa, come in fig. 3.33. Al serbatoio è collegato una presa d'aria compressa, asservita ad un pressostato ed avente la funzione di mantenere un cuscino d'aria a pressione circa costante nella parte superiore del serbatoio. È necessario reintegrare l'aria contenuta nell'autoclave, anche per far fronte al suo assorbimento da parte dell'acqua.

Quando, a seguito del prelievo d'acqua, il livello dell'acqua scende sotto il limite inferiore stabilito, la pompa è avviata da un livellostato, fino al raggiungimento del livello superiore. A seguito del contatto continuo con l'acqua al pelo libero, parte dell'aria è assorbita dall'acqua, cosicché, al raggiungimento del livello superiore, viene ripristinato il giusto valore della pressione, attraverso il pressostato **Pa**, che aziona la valvola di alimentazione dell'aria compressa. Pertanto, si ha un'escursione di pressione nella rete di distribuzione, la cui ampiezza viene prestabilita in funzione delle necessità.

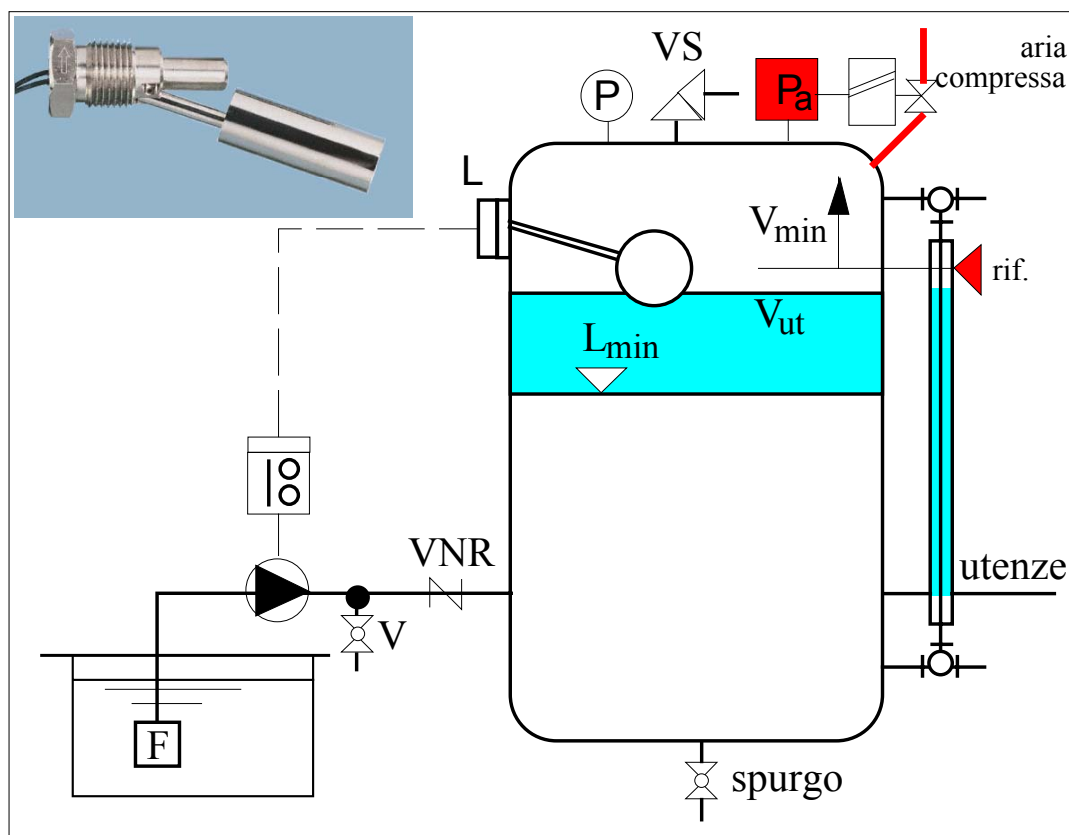


fig. 3.33. Schema di installazione di un'autoclave. Il livellostato è di costruzione CRYDOM. www.crydom.com

Nello schema proposto, in cui la pompa è provvista della valvola di fondo **F** per impedire la perdita dell'adescamento ed il filtraggio dell'acqua, si può notare anche la valvola **V**, posta tra la pompa e la valvola di non ritorno **VNR** e che viene aperta per le operazioni di adescamento. Quando, a pompa ferma, si apre la valvola **V**, il tratto di condotta fino alla valvola di non ritorno si svuota dall'acqua e si riempie d'aria, diminuendo la contropressione alla mandata della pompa.

Con riferimento allo schema di fig. 3.33, detta p_u la pressione richiesta alle utenze, Δp_t e Δp_g le perdite di carico e la quota geodetica massime, tra la sezione di uscita dell'autoclave e quella di ingresso nell'utenza più sfavorita, alla massima portata di progetto, la pressione minima nell'autoclave, deve essere:

$$p_0 = p_u + \Delta p_t + \Delta p_g$$

Garantita tale condizione, il livellostato **L** comanda l'avvio della pompa, quando il volume d'aria vale $V_{\min} + V_{ut}$, fermandola al raggiungimento del livello massimo di progetto. Pertanto, fissate le pressioni estreme del ciclo, il volume utile dell'autoclave è V_{ut} e, supponendo che la compressione e l'espansione dell'aria siano trasformazioni isoterme, risulta:

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot (V_{ut} + V_{\min}) \quad V_{ut} + V_{\min} = \frac{p_0}{p_1} \cdot V_0$$

Se consideriamo la pompa mossa da un motore elettrico, per evitare sovraccarichi del motore se ne deve valutare il funzionamento intermittente, calcolando il numero N_s di accensioni nell'unità di tempo, ed il tempo **T** di riempimento e svuotamento dell'autoclave. Perciò, il valore di N_s ha un valore massimo, e **T** presenta corrispondentemente un valore minimo. Si ha:

$$N_s = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

con t_1 e t_2 tempi di riempimento e svuotamento dell'autoclave. Dette Q_p e Q_u le portate della pompa e delle richieste delle utenze, si può scrivere:

$$t_1 = \frac{V_{ut}}{Q_p - Q_u} \quad (\text{con } Q_p > Q_u) \quad t_2 = \frac{V_{ut}}{Q_u - Q_p} \quad (\text{con } Q_u > Q_p)$$

ed i valori minimi di t_1 e t_2 si hanno rispettivamente in corrispondenza di $Q_u = 0$ (utenze tutte chiuse) e di $Q_p = 0$ (pompa ferma ed utenze alla massima portata di utilizzo):

$$T_{\min} = \frac{1}{N_{s,\max}} = V_{ut} \cdot \left(\frac{1}{Q_p} + \frac{1}{Q_{u,\max}} \right)$$

Poiché è necessario non sovradimensionare la pompa, per considerazioni economiche, e deve essere sempre $Q_p \geq Q_u$, scegliamo la portata Q_p in modo che risulti:

$$Q_p = Q_{p,\min} = Q_{u,\max} = Q$$

$$T_{\min} = \frac{1}{N_{s,\max}} = \frac{2 \cdot V}{Q}, \quad \text{cioè: } V = \frac{Q}{2 \cdot N_{s,\max}} \quad (3.14a)$$

oppure, più in generale:

$$Q_p = k \cdot Q_{u,\max} \quad \text{e} \quad k \leq 1$$

$$T_{\min} = \frac{1}{N_{s,\max}} = V \cdot \left(\frac{1}{k \cdot Q_{u,\max}} + \frac{1}{Q_{u,\max}} \right) = \frac{V}{k \cdot Q_{u,\max}} (1 + k) \quad (3.14b)$$

3.2.3. Progettazione della Rete di Distribuzione.

Esaminiamo la progettazione della rete di distribuzione dell'acqua industriale nello stabilimento. La progettazione consiste essenzialmente nella determinazione dei diametri delle tubazioni, essendo generalmente note le lunghezze dei tratti, le pressioni e le portate d'acqua richieste dalle utenze.

Le lunghezze delle tubazioni sono note, in quanto la geometria della rete viene stabilita a priori, in base al lay-out dell'impianto, alle caratteristiche del fabbricato, alle esigenze del servizio, ecc. Le portate d'acqua da alimentare alle utenze costituiscono un altro dato del problema, insieme alla pressione richiesta dall'utilizzazione.

La determinazione dei diametri si effettua applicando il criterio del minimo costo totale, giusto compromesso tra il costo di esercizio (proporzionale alle perdite di carico) ed il costo di installazione (proporzionale al diametro delle tubazioni). Peraltro, una valutazione di larga massima del diametro delle tubazioni interessate da portate note può essere impostata assumendo valori medi della velocità dell'acqua comprese tra 1 e 2 m/s, come visto in §3.1.1.

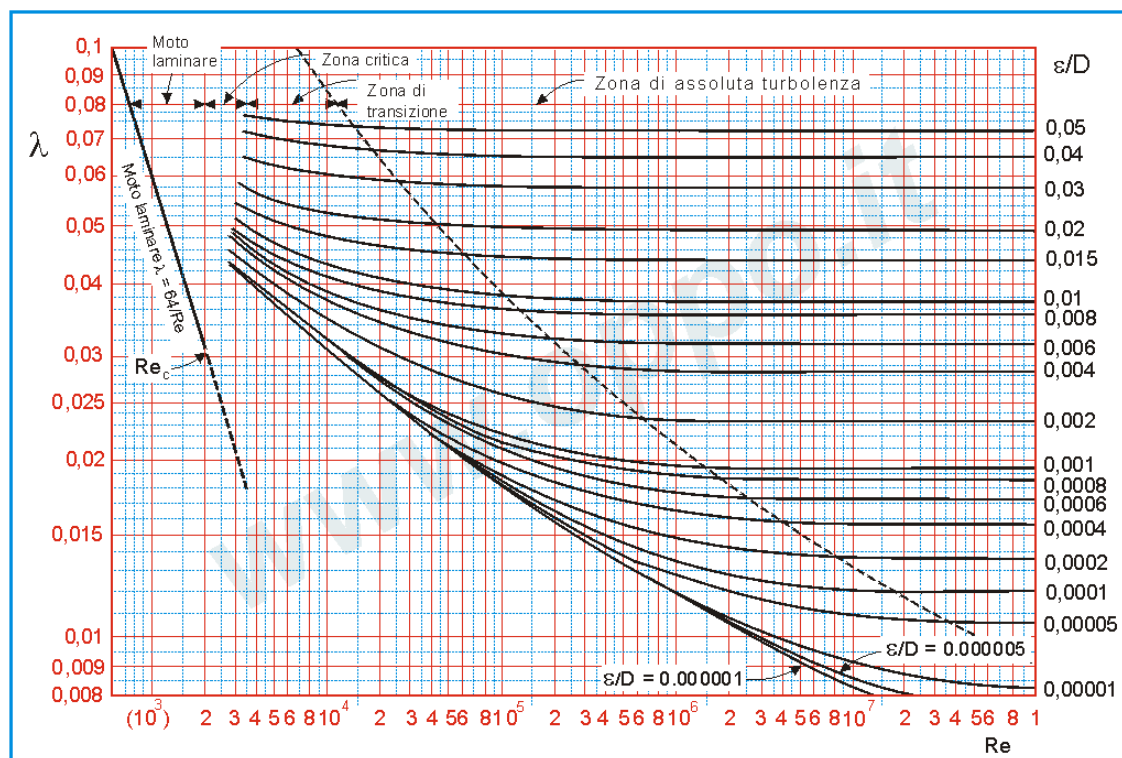


fig. 3.34. Diagramma di Moody. <http://www.oppo.it/>

La rete antincendio è un caso particolare, in quanto si pensa che essa sia utilizzata saltuariamente e per tempi limitati. In questo caso, il criterio del minimo costo totale

perde di importanza ed, assumendo valori della velocità dell'acqua compresi tra 2 e 3 m/s, si preferisce minimizzare i costi di installazione, a discapito di quelli di esercizio.

Il progetto viene eseguito conoscendo le pressioni delle perdite di carico lungo il circuito, dovute all'attrito (perdite distribuite) ed alla presenza di accidentalità (perdite localizzate nelle deviazioni, valvole, cambi di sezione, ecc.).

Come è noto, l'espressione delle perdite **distribuite** può essere della forma:

$$\frac{\Delta p_d}{\gamma} = \frac{L}{d} \cdot \lambda \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{L}{d} \cdot \lambda \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi d^4} \quad (3.15)$$

ed il coefficiente di attrito λ può essere ricavato per i vari tipi di scabrezza del tubo, ad esempio dall'abaco di Moody di fig. 3.34, in funzione del numero di Reynold:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

o mediante formule del tipo (Colebrook-White):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \ln \left(\frac{2.51 \cdot d}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon/d}{3.71} \right) \quad (3.16)$$

con ε scabrezza del tubo.

Per le perdite di carico **localizzate**, come visto in §3.1.3 ed in tab. 3.XIV:

$$\frac{\Delta p_c}{\gamma} = \xi \cdot \frac{v^2}{2} \quad (3.17)$$

ed il coefficiente ξ è tabulato in funzione dell'accidentalità. Le perdite di carico localizzate possono essere espresse anche in termini di lunghezza equivalente:

$$\xi = \frac{\lambda \cdot L_{eq}}{d} \quad (3.18)$$

convertendole in equivalenti perdite distribuite, e semplificando in qualche modo i calcoli.

Per ottenere la prevalenza totale **H** che la pompa deve fornire, alla portata **Q** richiesta, alle perdite distribuite e localizzate ora definite è necessario aggiungere la pressione richiesta dalle utenze e l'altezza geodetica alla quale l'utenza si trova. La potenza del motore di comando della pompa è:

$$P_{kW} = \frac{Q \cdot H_p \cdot \rho}{\eta} \quad (3.19)$$

essendo H_p l'energia specifica trasmessa al fluido [J/kg], ed η il rendimento globale della motopompa.

Si distinguono fondamentalmente due tipi di reti, a pettine ed a maglia.

3.2.3.1. Rete a Pettine

Uno schema di rete a pettine semplice è rappresentata in fig. 3.35. La progettazione delle reti di distribuzione viene effettuata partendo dai dati noti di progetto, che sono le lunghezze dei singoli tronchi delle tubazioni, le portate e le pressioni richieste dalle u-

tenze. Quando si ha di fronte una rete a pettine è sempre necessario definire il ramo principale (o collettore principale), cioè quell'insieme di tronchi in serie (cioè i tratti di tubazione percorsi dalla stessa portata ed hanno un solo diametro), che congiunge la fonte di approvvigionamento all'utenza più sfavorita.

L'utenza più sfavorita deve essere individuata come quella che richiede la massima energia specifica, e quindi va individuata sulla base della pressione totale richiesta, corrispondente cioè alla massima somma dei contributi di quota piezometrica, pressione statica richiesta dall'utenza e distanza dalla fonte di approvvigionamento. Perciò, non è detto che l'utenza più lontana sia anche quella sfavorita.

Poiché i diametri dei tronchi non sono ancora stati definiti, l'individuazione del collettore principale si baserà innanzitutto sulle prime due delle variabili dette sopra (cioè la pressione totale richiesta e la distanza), mentre le perdite di carico saranno tenute in conto per ora sulla base dell'esperienza, salvo successiva verifica. A titolo di primo tentativo, si possono utilizzare abachi o tabelle che forniscono la perdita di carico distribuita, in funzione del diametro nominale e della portata d'acqua fluente.

Successivamente si procede nel modo seguente:

- dimensionare i vari tronchi del collettore principale,
- calcolare l'energia posseduta dal fluido in corrispondenza dei nodi di diramazione appartenenti al collettore,
- dimensionare i rami secondari, in modo che essi risultino bilanciati col collettore principale. In altre parole, l'acqua che arriva ad una diramazione deve presentare la stessa perdita di energia nel percorrere il resto di collettore principale ed il tronco di derivazione, alle rispettive portate locali. Si deve cercare di ottenere questo risultato tramite la scelta oculata dei diametri dei singoli tronchi, magari aiutandoci con l'inserimento di dispositivi di regolazione o parzializzazione nei tronchi secondari.

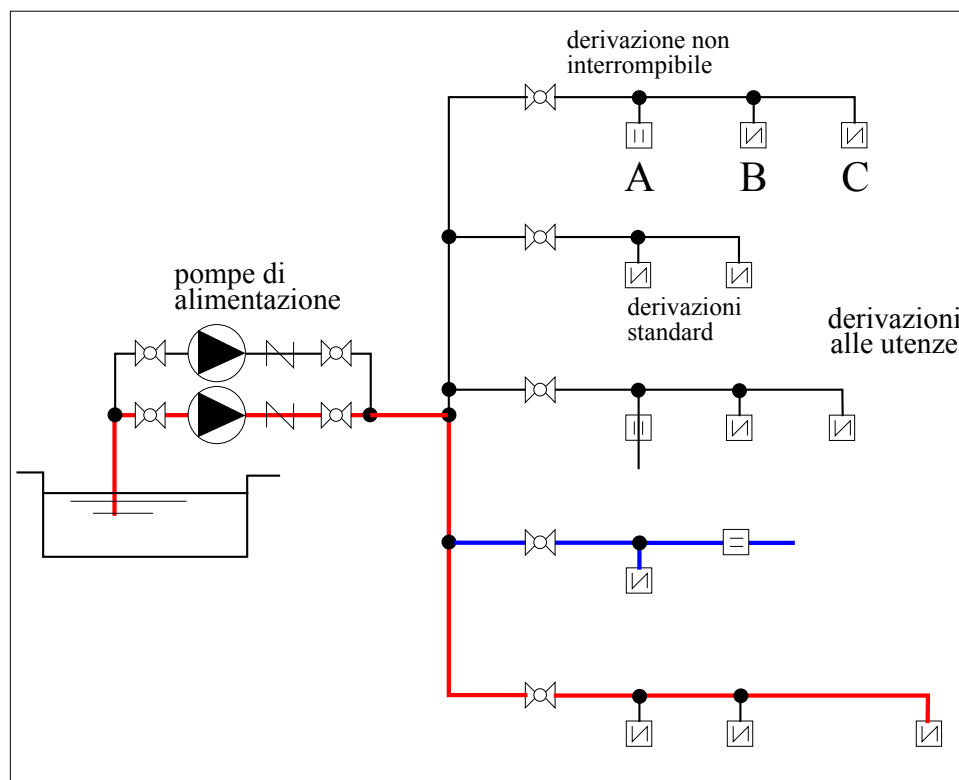


fig. 3.35. Schema di rete di distribuzione a pettine.

tab. 3.XVIII. Perdite di carico dei tubi di acciaio senza saldatura, secondo Hazen-Williams. Estratto di <http://www.oppo.it/>

Q [dm ³ /s]				v [m/s]				Δp_c [mc.a/km]							
	DN	50	60	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
	$\varnothing_{int}$	53.9	69.7	81.7	106.3	130.7	159.3	208	260	310	341	390	441	490	590
1	v	0.44	0.26	0.19											
	Δp_c	6.19	1.77	0.82											
2	v	0.88	0.52	0.38	0.23										
	Δp_c	22.33	6.39	2.95	0.82										
4	v	1.75	1.05	0.76	0.46	0.30	0.20								
	Δp_c	80.51	23.02	10.62	2.96	1.06	0.41								
6	v	2.63	1.57	1.15	0.68	0.45	0.30	0.18							
	Δp_c	170.45	48.74	22.49	6.24	2.28	0.87	0.24							
8	v	3.61	2.10	1.53	0.90	0.60	0.40	0.24							
	Δp_c	260.22	82.99	36.29	10.63	3.58	1.48	0.41							
10	v	4.39	2.62	1.91	1.13	0.75	0.50	0.29	0.19						
	Δp_c	438.54	125.40	57.85	16.06	6.87	2.24	0.61	0.20						
12	v		3.15	2.29	1.35	0.90	0.60	0.35	0.23						
	Δp_c		175.71	81.06	22.50	8.22	3.14	0.86	0.29						
15	v		3.94	2.86	1.69	1.12	0.75	0.44	0.28	0.20					
	Δp_c		265.61	122.49	33.99	12.48	4.74	1.30	0.43	0.19					
20	v		5.25	3.82	2.28	1.49	1.00	0.59	0.38	0.27	0.22				
	Δp_c		452.08	208.56	57.88	21.16	8.07	2.21	0.74	0.32	0.20				
25	v			4.77	2.82	1.87	1.26	0.74	0.47	0.33	0.27	0.21			
	Δp_c			315.15	87.48	31.97	12.20	3.33	1.11	0.48	0.30	0.16			
30	v			5.73	3.38	2.24	1.51	0.88	0.56	0.40	0.33	0.25	0.20		
	Δp_c			441.57	122.56	44.80	17.09	4.67	1.56	0.67	0.42	0.22	0.12		
35	v			6.68	3.95	2.61	1.76	1.03	0.66	0.47	0.38	0.29	0.23	0.19	
	Δp_c			587.29	162.99	59.58	22.73	8.21	2.08	0.89	0.56	0.29	0.16	0.10	
40	v				4.51	2.98	2.01	1.18	0.75	0.53	0.44	0.33	0.26	0.21	
	Δp_c				208.66	76.28	29.10	7.96	2.66	1.14	0.71	0.37	0.20	0.12	
45	v				5.08	3.36	2.26	1.33	0.85	0.60	0.49	0.38	0.29	0.24	
	Δp_c				259.46	94.85	30.18	9.89	3.80	1.42	0.88	0.46	0.25	0.19	
50	v				5.64	3.73	2.51	1.47	0.94	0.66	0.56	0.42	0.33	0.26	0.18
	Δp_c				315.30	115.26	43.97	12.02	4.02	1.73	1.07	0.58	0.31	0.18	0.08
60	v				6.77	4.48	3.01	1.77	1.13	0.80	0.66	0.50	0.39	0.32	0.22
	Δp_c				441.79	161.50	61.61	16.85	5.63	2.42	1.50	0.78	0.43	0.26	0.11
70	v				7.90	6.22	3.52	2.05	1.32	0.93	0.77	0.59	0.46	0.37	0.26
	Δp_c				587.58	214.79	81.94	22.40	7.46	3.22	2.00	1.04	0.57	0.34	0.14
80	v					5.97	4.02	2.36	1.50	1.06	0.87	0.67	0.52	0.42	0.29
	Δp_c					274.98	104.90	28.68	9.58	4.12	2.56	1.33	0.73	0.44	0.16
90	v					6.71	4.52	2.65	1.69	1.20	0.96	0.75	0.59	0.48	0.33
	Δp_c					341.93	130.44	35.67	11.91	5.12	3.19	1.66	0.91	0.65	0.22
100	v					7.45	6.02	2.95	1.88	1.33	1.09	0.84	0.65	0.53	0.37
	Δp_c					416.52	156.51	43.34	14.45	6.22	3.87	2.01	1.11	0.66	0.27
125	v					9.33	6.28	3.69	2.35	1.66	1.37	1.05	0.82	0.66	0.46
	Δp_c					827.87	239.52	65.48	21.88	9.40	6.86	3.04	1.68	1.00	0.41
150	v						7.63	4.42	2.82	1.99	1.64	1.26	0.98	0.79	0.65
	Δp_c						335.60	91.76	30.65	13.17	8.20	4.27	2.35	1.40	0.57
200	v						10.04	5.90	3.76	2.66	2.19	1.67	1.31	1.06	0.73
	Δp_c						571.43	166.24	52.19	22.43	13.96	7.26	4.00	2.39	0.98
250	v							7.37	4.70	3.32	2.73	2.09	1.64	1.32	0.92
	Δp_c							236.10	78.86	38.90	21.09	10.87	6.05	3.61	1.47
300	v							8.75	5.64	3.99	3.28	2.51	1.96	1.59	1.10
	Δp_c							330.81	110.50	47.49	29.55	15.38	8.48	5.06	2.06
350	v							10.32	6.68	4.85	3.83	2.93	2.29	1.85	1.28
	Δp_c							439.97	146.96	63.17	39.30	20.45	11.27	6.74	2.75
400	v							11.79	7.62	5.32	4.37	3.34	2.62	2.12	1.47
	Δp_c							563.26	188.14	80.87	60.31	26.18	14.43	8.62	3.62
450	v								8.46	5.98	4.92	3.76	2.95	2.38	1.65
	Δp_c								233.95	100.56	62.56	32.56	17.94	10.72	4.37
500	v								9.40	6.54	5.47	4.18	3.27	2.65	1.83
	Δp_c								284.30	122.20	76.02	39.56	21.81	13.03	5.31

Il dimensionamento relativo al ramo del collettore principale può essere condotto secondo diversi criteri:

3. SERVIZI AZIENDALI

- fissando per ogni tronco una velocità compresa tra 1 e 2m/s (ricordando l'eccezione degli impianti antincendio),
- fissando per ogni tronco la stessa perdita di carico specifica, come da tab. 3.XVIII,
- determinando i diametri dei tronchi appartenenti al collettore principale, mediante il criterio del minimo costo totale.

In ogni caso si deve tener presente che nella scelta del criterio è importante l'utilizzo e la dimensione dell'impianto.

Esempio

Si debba calcolare la presente rete, i cui dati mostrano che l'attività industriale è messa su due livelli. Col primo tentativo, individuiamo il collettore principale come quello che passa tra i punti 1, 2, 3, 5. In tabella vengono riportate le accidentalità, con i rispettivi coefficienti di perdita localizzata.

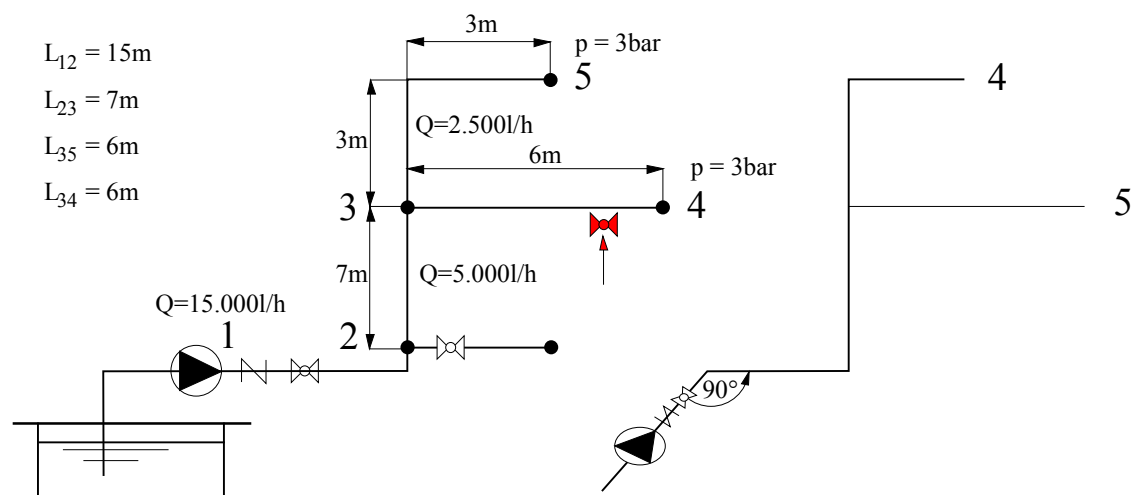


fig. 3.36. Schema dell'impianto dell'esempio

Il risultato di $\Delta p = 8.211\text{mmc.a.}$ è quanto richiesto per la definizione delle prestazioni della pompa (al netto delle perdite localizzate attraverso le valvole e quelle distribuite lungo il tubo di aspirazione e mandata e considerando la portata di 15.000l/h). Si devono ora verificare i tronchi secondari.

tronco	Q m^3/h	DN	v m/s	R $\frac{\text{mmc.a.}}{\text{m}}$	L m	R_d mmc.a.	$\Sigma \xi_d$	$\frac{v^2 \cdot 10^3}{2 \cdot g}$ mmc.a.	R_A mmc.a.	R_{tot} mmc.a.	Δz mmc.a.	Δp mmc.a.
1 - 2	4.17	2"	1.8	55	15	825	0.3					
							2					
							0.5	165	462	1287	0	1287
2 - 3	1.39	1"1/4	1.36	55	7	385	1					
							0.5	94.3	141	526	3000	3526
3 - 5	0.69	1"	1.15	55	6	330	1					
							0.5	34.3	67	397	3000	3397
											totale	8211

L'utenza **4** si trova ad un'altezza geodetica di 3m ed, inoltre, richiede una pressione di 3bar, pari a 30.000mmc.a. Quindi, per l'alimentazione dell'utenza **4**, è necessario garantire la perdita di carico del tronco **3 - 5**, pari a 3.397, in modo che la rete sia qui bilanciata. Il ramo secondario **3 - 5** è interessato dalla portata d'acqua di 2.500l/h = 0.69m³/s, e deve soddisfare la:

$$\Delta p_{34} = p_3 - p_4 = 3397 = R_d \cdot L + \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot 10^3$$

Scegliendo un DN3/4", che presenta una perdita distribuita di 200mmc.a./m, la velocità dell'acqua risulta:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2.500}{3.600} \cdot \frac{1}{1.000} \cdot \frac{\pi \cdot 0.0215^2}{4} = 1.91 \text{ m/s}$$

e la perdita di carico localizzata $\xi = 1.5$ per il passaggio attraverso il T (passaggio con curva), risulta:

$$R'_A = 1.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot 1.000 = 279 \quad R'_d = 200 \cdot 6 = 1.200 \quad \Delta p_{34} = 1.479 \text{ mmc.a.}$$

Poiché la pressione reale all'utenza **4** è maggiore di quanto richiesto, si può agire diminuendo DN al di sotto di quanto scelto, oppure incrementare la perdita di carico localizzata, inserendo, ad esempio una valvola di regolazione. D'altra parte, la diminuzione di DN a 1/2" comporterebbe una velocità dell'acqua eccessiva (pari a 3.5m/s). In definitiva, il tubo ha il diametro corretto per la velocità dell'acqua ed è necessario inserire una valvola.

3.2.3.2. Rete a Maglie

La rete a maglie viene inizialmente disegnata con un andamento di primo tentativo. Poi, essa verrà bilanciata, ad esempio col metodo di Cross. Lo schema di una generica rete a maglie è rappresentata in fig. 3.36, nella quale si distinguono le maglie, i lati ed i nodi.

Ogni maglia è costituita da 3 o più **lati**, sui quali si individuano rami e nodi. Sono **nodi**:

- i punti di una tubazione ai quali perviene o dai quali defluisce una portata d'acqua nota,
- il punto di una tubazione caratterizzato dal fatto che la portata erogata in quel punto proviene parte da un'estremità e parte dall'altra estremità della tubazione (punto di separazione delle acque).

Si denominano **rami** i tratti tubazione a sezione costante, compresi tra due nodi consecutivi. Date le caratteristiche costruttive delle reti a maglie, è ovvio che devono essere soddisfatte le condizioni seguenti:

A. soddisfacimento delle **equazioni di continuità delle portate** in ogni nodo della rete:

$$\sum_N (\pm q_i) \pm Q_N = 0 \quad (3.20)$$

dove: $\pm q_i$ sono le portate che percorrono i rami convergenti nel nodo N. $-q_j$ le portate che ne divergono e $+q_j$ quelle che vi convergono. $+Q_N$ indicano le portate che confluiscono nel nodo N dall'esterno (di alimentazione della rete), mentre $-Q_N$ quelle che si dipartono dallo stesso nodo (utenze). Cioè, le q_j interessano i rami, mentre Q_N interessano le diramazioni,

B. soddisfacimento del **principio di continuità dei carichi** (o equazioni del moto), espresso dalle seguenti equazioni, applicate ad ogni maglia della rete.

Assumendo la perdita di carico h_j col segno + od il segno – a seconda che la corrente, lungo i lati di ogni maglia, abbia segno concorde o discorde col senso di circolazione preventivamente assunto arbitrariamente come positivo:

$$\sum_M (\pm h_j) = 0 \quad (3.21)$$

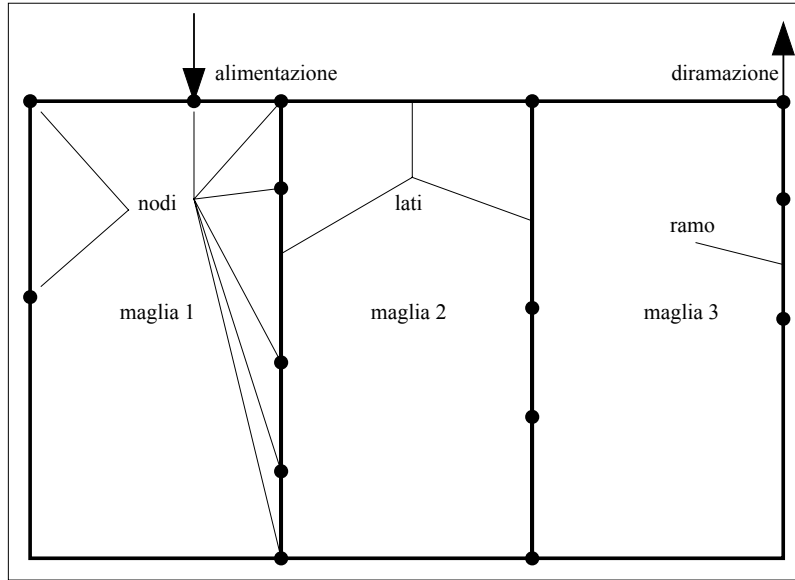


fig. 3.37. Parti costituenti una rete a maglie.

Il metodo di Cross, o del bilanciamento dei carichi, ricerca innanzitutto una soluzione che soddisfi la continuità delle portate. Tale soluzione sarà in genere sbilanciata rispetto ai carichi e, pertanto, deve essere corretta facendo circolare in ogni maglia una portata tale da realizzare il bilanciamento dei carichi, senza modificare la continuità delle portate.

Poiché le maglie hanno lati in comune, il bilanciamento, eseguito per una generica maglia, sbilancerà le maglie contigue già precedentemente bilanciate. Quindi occorre eseguire una prima serie di bilanciamenti, ripetendo più volte l'operazione. In termini quantitativi, il procedimento assume la forma seguente, partendo da una soluzione che soddisfi le condizioni di continuità delle portate, cioè tale che la (3.20) sia soddisfatta.

Tuttavia, in genere si ha che la (3.21) non è soddisfatta, cioè si ha:

$$\sum_M (\pm h_j) = \sum_M (\pm r_i \cdot q_i^2) = \Delta h \neq 0 \quad \text{essendo:} \quad r_i = k \cdot \frac{l_i}{d_i^5}$$

e la rete è sbilanciata rispetto ai carichi. Per annullare Δh , si considera una portata correttiva di verso ed entità tale da realizzare il bilanciamento della maglia, cioè tale che, con l'introduzione della portata q_c , sia:

$$\sum_M \pm r_i \cdot (q_i \pm q_c)^2 = 0 \quad (3.22)$$

Si nota che la portata q_c non sbilancia l'equazione di continuità delle portate, in quanto le portate correttive si sommano algebricamente alle portate q_i fluenti lungo i lati comuni delle maglie. Il metodo iterativo di Cross può essere sviluppato con calcoli manuali solamente nel caso di reti sufficientemente semplici. Esso viene impiegato anche per

controllare la bontà di un dimensionamento eseguito con altri metodi, o per verificare reti esistenti, alle quali siano state apportate modifiche, ecc. Le formule per valutare le perdite di carico h nei tronchi di tubazione sono quelle consuete.

Infine, si osserva che la (3.22) può essere espressa nella forma:

$$\sum_M k_i \cdot f(q_i + \Delta q_i) = 0$$

nella quale la funzione può essere sviluppata in serie di Taylor, interrotta al 2° termine:

$$f(q_i + \Delta q) = f(q_i) + f'(q_i) \cdot \Delta q \quad \text{quindi :}$$

$$\sum_M k_i \cdot f(q_i + \Delta q) = \sum_M k_i \cdot f(q_i) + \sum_M k_i \cdot f'(q_i) \cdot \Delta q \quad \text{da cui :}$$

$$\Delta q = - \frac{\sum_M k_i \cdot f(q_i)}{\sum_M k_i \cdot f'(q_i)} \quad (3.23)$$

Esempio

Si debba dimensionare la rete chiusa su un solo livello, rappresentata in figura. In essa sono presenti 3 utenze, il cui diagramma dei consumi sia rappresentato nella stessa figura. Una quarta utenza è prevista come sviluppo successivo. La maglia è prevista di tubo DN70.

La pompa centrifuga a servizio della rete sarà scelta in base alle prestazioni richieste dalle utenze, le quali tutte richiedono una pressione di 3bar. Come si vede dai diagrammi delle richieste, in alto a destra, il periodo critico si verifica dalle ore 12 alle ore 15, ed, in una prima fase, rappresenta i dati di progetto della rete.

Come si vede in figura, si è scelto un verso di percorrenza della maglia (orario), ed un verso arbitrario delle portate nei rami.

Equazioni di equilibrio delle portate ai nodi:

$$Q_{oa} + Q_{oc} = Q_l = 760 \quad \text{eq. nodo o}$$

$$Q_{oa} = Q_{ab} + Q_a = Q_{ab} + 180 \quad \text{eq. nodo a}$$

$$Q_{ab} = Q_b - Q_{cb} = 400 - Q_{cb} \quad \text{eq. nodo b}$$

$$Q_{oc} = Q_{cb} + Q_c = Q_{cb} + 180 \quad \text{eq. nodo c}$$

Equazioni di equilibrio della maglia:

$$\Delta p_{oa} + \Delta p_{ab} + \Delta p_{cb} + \Delta p_{oc} = 0$$

Soluzione arbitraria che soddisfa l'equazione di equilibrio ai nodi

$$Q'_{oa} = 180 \quad Q'_{ab} = 0 \quad Q'_{cb} = 400 \quad Q'_{oc} = 580$$

Portate correttive (col segno in accordo con la direzione delle correnti):

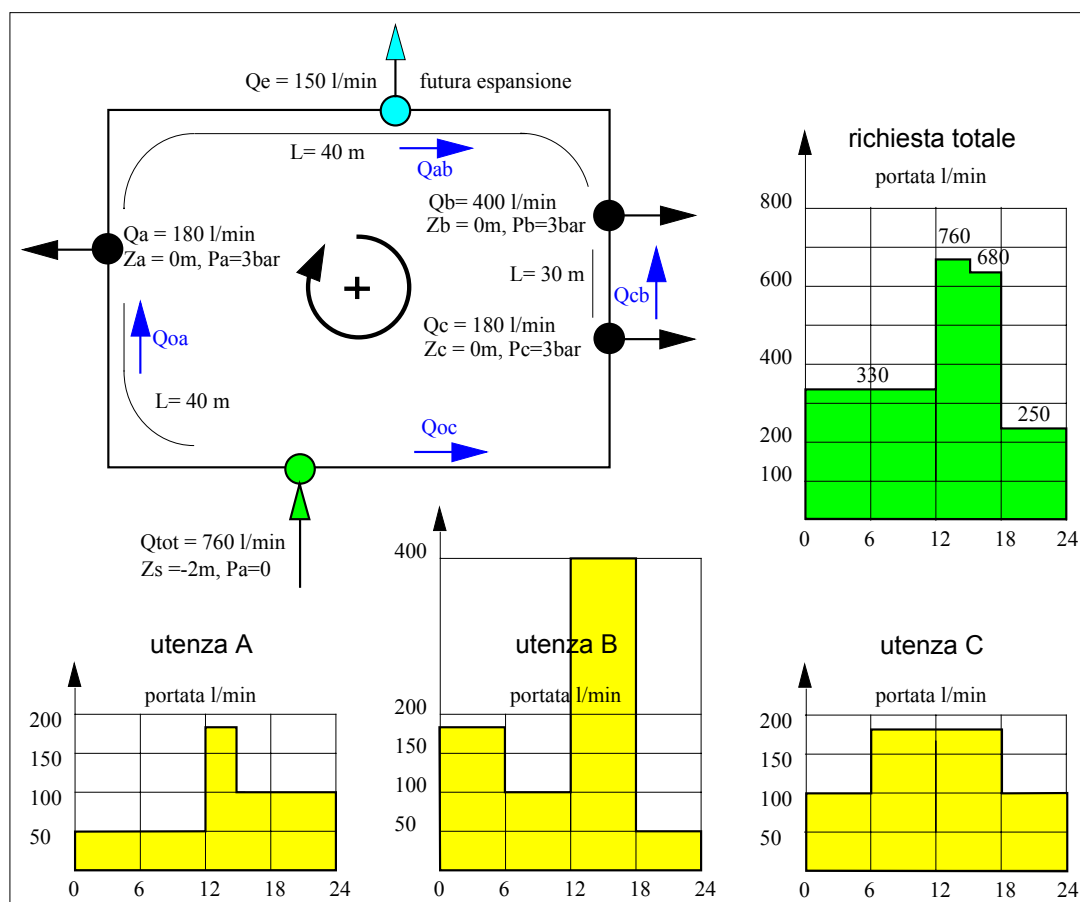
$$\Delta Q = - \frac{\sum_M k_i \cdot f(Q_i)}{\sum_M k_i \cdot f'(Q_i)} = - \frac{Q_{oa}^2 \cdot L_{oa} + Q_{ab}^2 \cdot L_{ab} - Q_{cb}^2 \cdot L_{cb} - Q_{oc}^2 \cdot L_{oc}}{2 \cdot (Q_{oa} \cdot L_{oa} + Q_{ab} \cdot L_{ab} + Q_{bc} \cdot L_{bc} + Q_{oc} \cdot L_{oc})} = 155$$

Prima soluzione corretta:

$$Q''_{oa} = 335 \quad Q''_{ab} = 155 \quad Q''_{cb} = 245 \quad Q''_{oc} = 425$$

3. SERVIZI AZIENDALI

che, essendo ΔQ aggiunta in senso orario a tutti i rami, non altera le equazioni di equilibrio delle portate ai nodi.



Calcolo dell'equilibrio delle perdite di carico nella maglia:

$$\Delta p'_{tot} = \sum_M (\pm h_i) = 0.46$$

Seconda soluzione corretta (introducendo una nuova portata correttiva, pari a $\Delta Q'' = -12 \text{ l/min}$ e tenendo conto della direzione delle correnti):

$$Q''_{oa} = 323 \quad Q''_{ab} = 143 \quad Q''_{cb} = 257 \quad Q''_{oc} = 437$$

Nuovo calcolo dell'equilibrio delle perdite di carico nella maglia:

$$\Delta p''_{tot} = \sum_M (\pm h_i) = 0.01$$

e, per ottenere un risultato ancora migliore, bisognerebbe inserire una nuova portata correttiva, che tuttavia risulta essere pari a -0.19 l/min , e che è da ritenere trascurabile.

Naturalmente, allo stesso risultato si poteva pervenire con un opportuno software, che avrebbe eseguito la verifica di Cross in brevissimo tempo.

In definitiva la **scelta della pompa** risulta essere per una portata di 760 l/min e, sulla base dei calcoli delle perdite di carico fino al nodo **b**, che è il più sfavorito, e tenendo conto dell'altezza di aspirazione di -2 m , la prevalenza della pompa deve essere almeno di 35 m a quella portata.

Analisi dinamica delle situazioni fuori progetto.

Caso A): Aumento della portata per l'incremento delle portate alle utenze del 20%. La ripetizione del calcolo porta alla scelta della pompa per le seguenti prestazioni:

$$Q_p = 912 \text{ l/min} \quad H = 36\text{m}$$

Tuttavia, questa soluzione mostra una velocità eccessiva nel ramo **oc**, pari a 2.25m/s, la quale potrebbe suggerire un aumento del diametro della tubazione tra quei nodi. La scelta di un diametro DN80 porta ad una minore velocità e minore prevalenza richiesta, in questo caso pari a 34m.

Caso B): espansione della rete con l'introduzione della nuova utenza **e**, che porta la portata della pompa a $760 + 150 = 910 \text{ l/min}$. Mantenendo i tubi DN70, la nuova prevalenza richiesta alla pompa deve essere di 36m, ora per soddisfare le condizioni del nodo **b**.

3.2.3.3. Dimensionamento Ottimale di un Impianto di Servizio

Considerando per semplicità un impianto senza serbatoio di accumulo, si analizzi una realizzazione impiantistica che consenta il prelievo dell'acqua industriale da una fonte ed il suo trasporto fino ad un'ipotetica utenza, come rappresentato schematicamente in fig. 3.37.

Il costo della rete di distribuzione dell'acqua industriale è costituito dalle seguenti voci:

- costo di ammortamento della spesa di installazione delle rete,
- costo di ammortamento della spesa di installazione della pompa,
- costo di esercizio della pompa,
- costo di manutenzione delle pompe e della rete.

Conglobando i costi di manutenzione e di ammortamento dell'installazione, il costo globale annuo C per il pompaggio di una portata d'acqua Q in una tubazione lunga L , può esprimersi sinteticamente con la:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

dove i costi C_i sono dovuti:

- C_1 all'ammortamento ed alla manutenzione della tubazione,
- C_2 all'ammortamento ed alla manutenzione della pompa,
- C_3 al consumo di energia per il funzionamento della pompa.

Come è ovvio, una diminuzione del diametro della rete provoca una diminuzione di C_1 ed un aumento di C_2 e C_3 e viceversa. Dunque, si tratta di dimensionare le tubazioni e di scegliere la pompa in modo che il costo globale annuo sia minimo.

Il costo di 1m di tubazione installata in opera può essere espresso mediante la:

$$C_1 = A \cdot DN^m$$

in cui A ed m sono coefficienti che tengono conto del tipo di tubazione impiegato e dei prezzi correnti di fornitura e posa in opera della stessa, nel momento in cui si realizza l'impianto.

Il costo della pompa, completa di motore ed apparecchiatura elettrica si può esprimere mediante la:

$$C_2 = B \cdot PP$$

in cui P è la potenza elettrica assorbita dal motore, in kW nelle condizioni nominali, e B e p sono coefficienti che dipendono dal tipo di pompa (sommersa, ad asse orizzontale, verticale, ecc.).

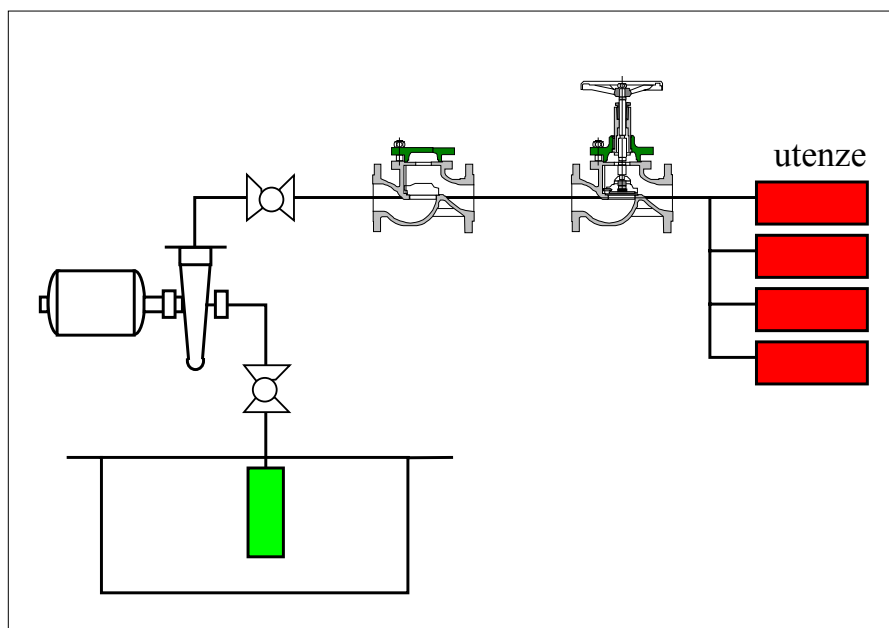


fig. 3.38. Semplice impianto di distribuzione diretta di acqua industriale, senza serbatoio di accumulo.

Il costo dovuto al funzionamento della pompa si ottiene moltiplicando la potenza elettrica assorbita P per il numero N di ore annue di funzionamento e per il costo unitario c_w dell'energia elettrica, al kWh:

$$C_3 = c_w \cdot N \cdot P$$

Ovviamente, tale ultima formula è corretta solamente qualora le portate delle utenze siano costanti nel tempo. Se tale situazione non si verifica, è necessario calcolare la potenza effettivamente assorbita dalla pompa, suddividendo l'intero esercizio in periodi omogenei e, per ognuno di essi tener conto del peggioramento di rendimento che si ha quando la pompa lavora fuori dalle condizioni scelte da progetto.

La potenza P contiene anche la parte dovuta alle perdite di carico. Questa non è nota all'inizio, poiché non sono noti i diametri dell'impianto. Si può procedere per via parametrica, ed il costo totale (che deve tener conto, del tasso di ammortamento τ , a sua volta funzione del tasso di interesse i e della durata di vita probabile dell'impianto):

$$C_{\text{tot}} = (C_1 + C_2) \cdot \tau + C_3$$

va minimizzato attraverso l'ottimizzazione del valore dei diametri, o, più semplicemente, del diametro del collettore principale.

3.3. IMPIANTI TERMICI

Col termine Impianto Termico si contraddistingue correntemente un impianto generale, atto ad assicurare alternativamente o contemporaneamente:

- il riscaldamento od il raffreddamento degli ambienti,
- la fornitura del calore o del freddo per i processi tecnologici,
- l'energia richiesta per l'alimentazione dei motori primi.

Ogni impianto termico è composto dai seguenti elementi principali:

- il **generatore**, che può essere una caldaia, un forno, un *impianto frigorifero*, un riscaldatore elettrico, ecc. la cui funzione è quella di rendere disponibile l'energia termica nelle condizioni fisiche più adatto all'utilizzo,
- le **canalizzazioni**, che convogliano il fluido termovettore per il suo trasporto dal generatore alle utenze,
- l'**utilizzatore**, che provvede a cedere l'energia termica occorrente al processo od all'ambiente.

Se il fluido termovettore opera in circuito aperto, l'utilizzatore deve solamente erogarlo correttamente al processo od all'ambiente, mentre, se opera in circuito chiuso, l'apparecchiatura terminale dell'impianto termico è uno scambiatore che assolve contemporaneamente alla doppia funzione di cedere al processo l'energia convogliata dal fluido termovettore, e di impedire che il fluido termovettore si disperda nel processo.

Gli scambiatori presentano tipologie e forme diverse, per adeguarsi alle caratteristiche chimico-fisiche del fluido termovettore, nonché a quelle del processo.

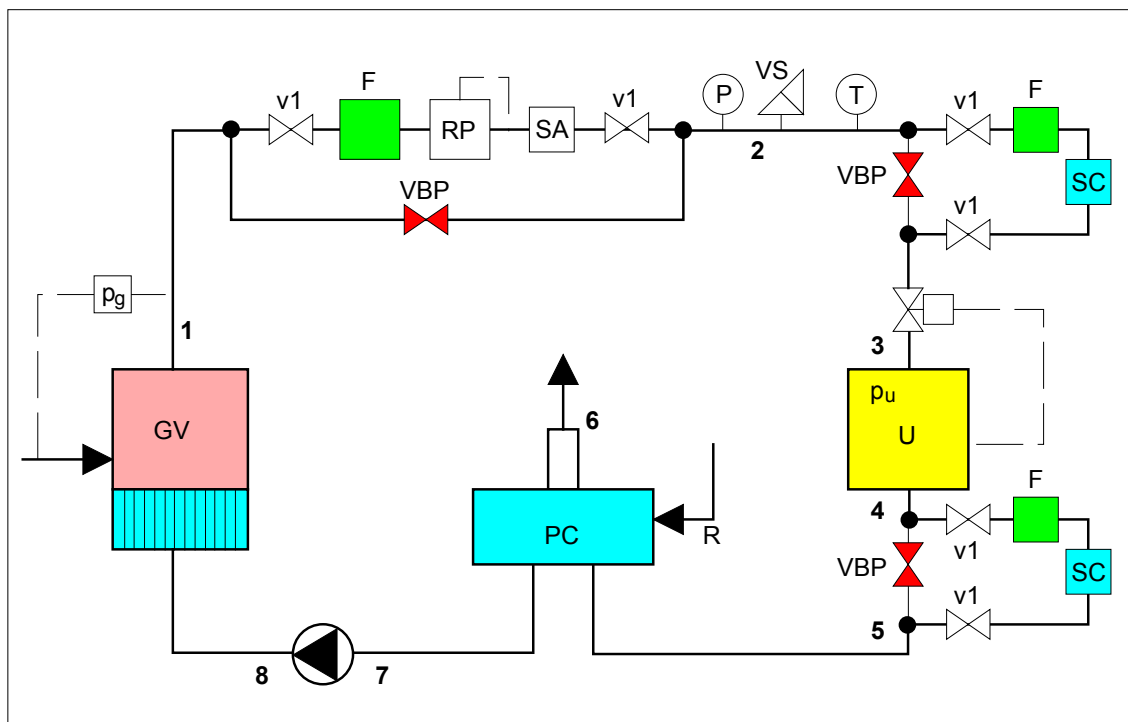


fig. 3.39. Schema di un Impianto Termico industriale a vapor d'acqua.

La pressione p_g all'interno del generatore di vapore **GV** di fig. 3.39 è maggiore della pressione p_u che regna alle utenze **U**, perciò nella canalizzazione di alimentazione delle utenze è inserito un primo filtro **F** ed il gruppo riduttore di pressione **RP**, che consente

anche l'utilizzo del generatore di vapore come volano termico ed il separatore d'aria SA, utile particolarmente agli avviamenti da freddo. Un riduttore di pressione per vapore è già stato visto in §3.1.4.5.

Infatti, in caso di aumenti del carico termico (cioè della richiesta di vapore da parte delle utenze) è possibile ottenere immediatamente altro vapore, sfruttando l'autoevaporazione dell'acqua contenuta nel generatore **GV**, che, conseguentemente all'aumento di richiesta, utilizza l'abbassamento della pressione per la produzione di altro vapore (ma a temperatura minore), a spese della sua capacità termica. La dipendenza dell'autoevaporazione di vapore dalla caduta di pressione è rappresentata in fig. 3.39.

In tal modo si attua quella che è chiamata **interruzione del carico**, cioè lo svincolo tra il servizio del generatore di vapore e le variazioni di richiesta di vapore delle utenze. Le conseguenti continue accensioni e spegnimenti dell'apparato di combustione potrebbero essere fonti di guasti e cattivo funzionamento.

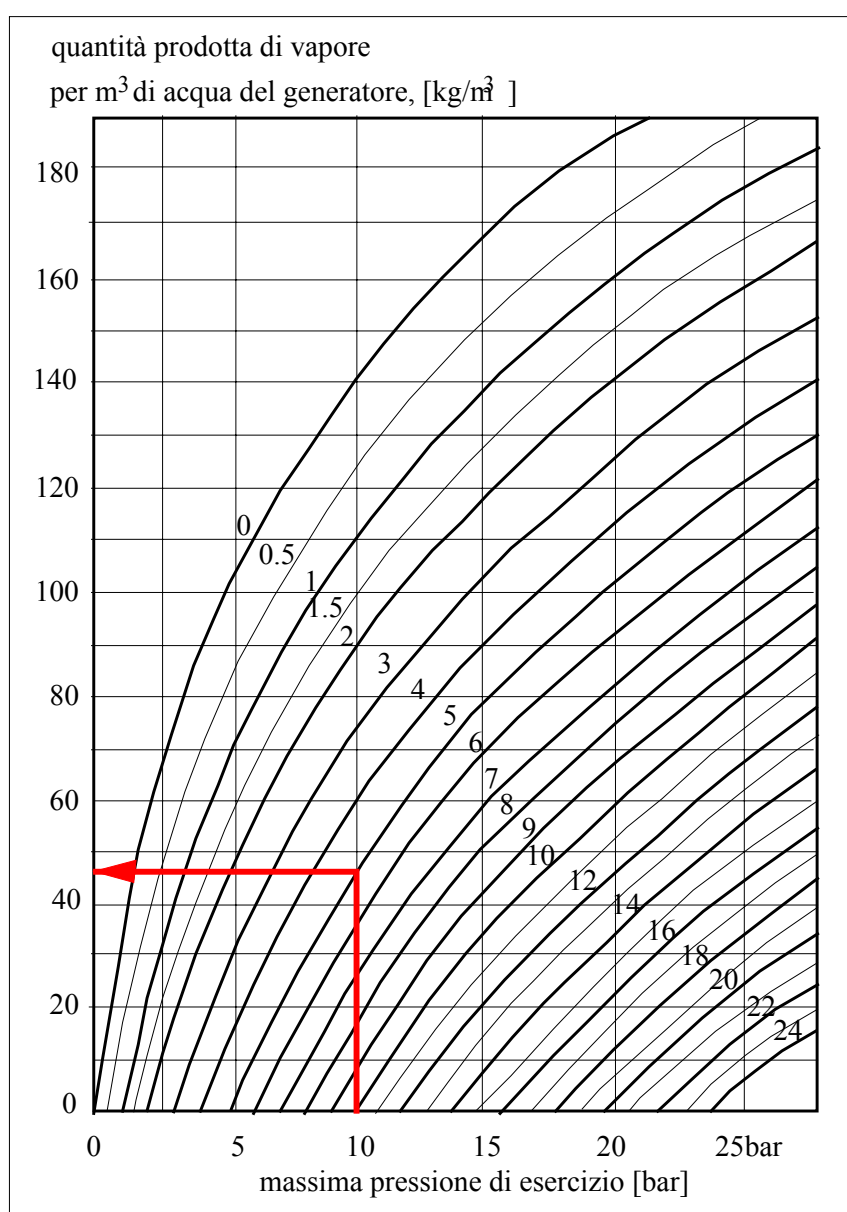


fig. 3.40. Dipendenza dell'autoevaporazione specifica dalla caduta di pressione nel generatore.

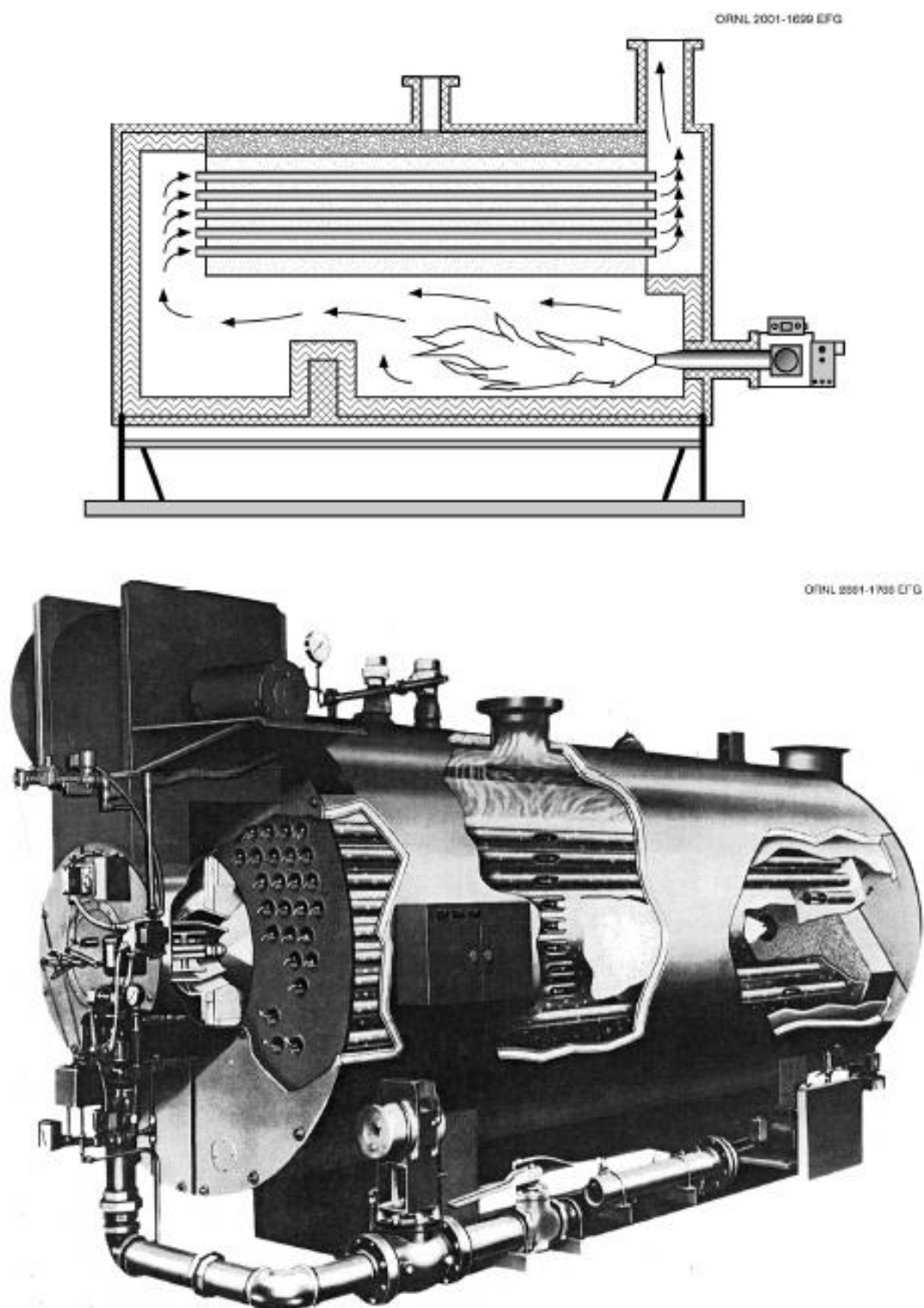


fig. 3.41. a) schema di un Generatore di Vapore a tubi di fumo, ad un giro di fumo, b) vista d'assieme della macchina ¹.
<http://www.ornl.gov/~webworks/cpr/y2001/rpt/112910.pdf>

¹ C. B. Oland, *Guide to Low-Emission Boiler and Combustion, Equipment Selection*, ORNL/Tm-2002/19.

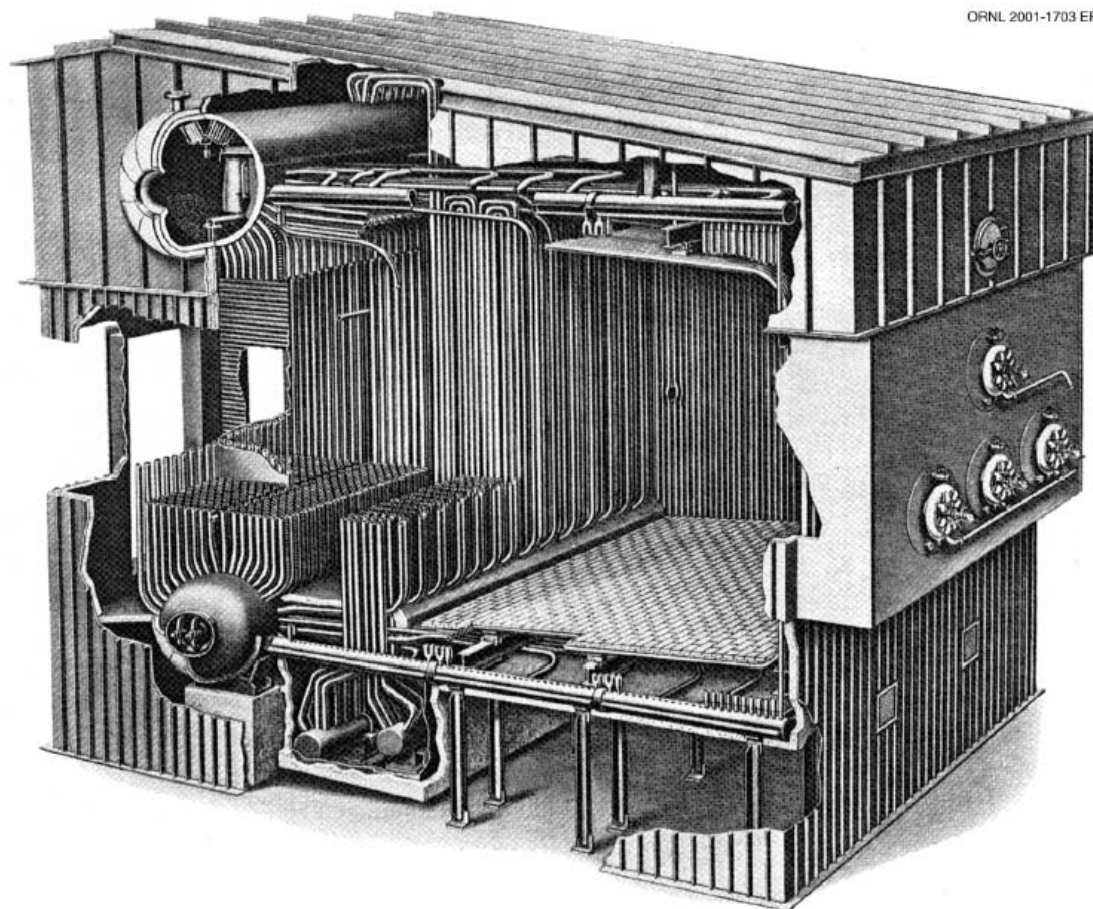


fig. 3.42. Vista sezionata di un generatore di vapore a tubi d'acqua compatto per impieghi industriali. Esso presenta il flusso dei fumi orizzontale e, nel caso rappresentato, è completo di surriscaldatori. Il montaggio è in campo².

In parallelo al gruppo riduttore di pressione, è sempre prevista la valvola manuale **VBP** di by-pass, che consente di mantenere l'impianto in funzione anche in caso di interventi di manutenzione sul riduttore di pressione. Lo schema è completato dalla valvola di sicurezza **VS**, che ha una capacità di sfioro pari alla maggiore tra le massime portate che possono passare attraverso la valvola **VBP** od attraverso il riduttore di pressione **RP**, indipendentemente dalle condizioni di esercizio. Il valore di taratura consigliato per la valvola di sicurezza **VS** è, all'inizio apertura, del 10% in più della pressione ridotta impiegata, mentre l'apertura completa si ottiene con un ulteriore aumento del 5% della pressione. Una valvola di sicurezza per vapore è già stata vista in §3.1.4.4.

Ancora con riferimento alla fig. 3.38, al punto **2**, di uscita dal gruppo riduttore di pressione, il vapore subisce un'ulteriore riduzione di pressione, dovuta alla perdita di carico nelle valvole di intercettazione **v1**, nel filtro **F**, nello scaricatore di condensa **SC** e nelle tubazioni fino all'utenza **U**. Per compensare le dispersioni termiche lungo il circuito, anche negli impianti a vapore saturo è ammesso un piccolo grado di surriscaldamento (dell'ordine di 10K), al fine di arrivare all'ingresso **3** dell'utenza con vapore saturo

² *Guideline for Gas and Oil Emission Factors for Industrial, Commercial, and Institutional (ICI) Boilers*, American Boiler Manufacturers Association, Arlington, Virginia, 1997

secco. Generalmente, all'ingresso **3** dell'utenza viene installato un regolatore di portata ed eventualmente di pressione, comandato da un sensore di temperatura, posto in un punto opportuno dell'apparecchiatura di utilizzo.

In uscita dall'utenza **U**, al punto **4**, il vapore è teoricamente del tutto condensato e, come tale subisce ulteriori cadute di pressione per arrivare al serbatoio di raccolta **6**, che è detto **pozzo caldo**. Si osservi che l'utenza è sempre servita, anche nel caso di intervento sullo scaricatore di condensa **SC**, grazie alla valvola **VBP** di by-pass.

Nel pozzo caldo **6** si libera una portata di vapore, a causa della laminazione della condensa nel passaggio dalla linea all'ambiente del pozzo caldo che, generalmente si trova alla pressione atmosferica, alla quale è messo attraverso un camino di evacuazione del vapore e degli incondensabili. Per evitare problemi di cavitazione della pompa, il pozzo caldo, che è riempito di condensa appunto calda, è posto ad una quota sufficientemente alta da evitare tali fenomeni col battente creato sull'aspirazione. Naturalmente, lo stesso fenomeno potrebbe crearsi anche sulla linea di arrivo del vapore dall'utenza (vapore di flash), a causa delle perdite di carico nelle tubazioni. In tal caso, si potrebbe verificare addirittura il blocco del flusso della condensa, che avviene per gravità.

3.3.1. Rete di Distribuzione del Vapore

Le tubazioni del vapore devono essere poste in leggera pendenza a scendere (dell'ordine del 3÷5%, al fine di favorire la concentrazione dell'aria eventualmente presente nel circuito verso le zone previste per la sua eliminazione. Lo spurgo dell'aria è molto importante poiché la miscela di aria e vapore si trova alla pressione del punto, la quale è somma delle rispettive pressioni parziali. Pertanto, la presenza dell'aria riduce la pressione parziale del vapore, quindi anche la sua temperatura di condensazione, creando problemi di regolazione. Inoltre, l'aria riduce la sezione utile di passaggio del vapore, aumentando le perdite di carico relative alla portata di vapore, che deve in ogni caso essere garantita. L'aria inibisce lo scambio termico, a causa del suo basso coefficiente di convezione (che è dell'ordine di 20÷80 W/m²/K, rispetto ai 5.000÷10.000 W/m²/K del vapore). Infine, l'aria provoca corrosione all'interno delle canalizzazioni.

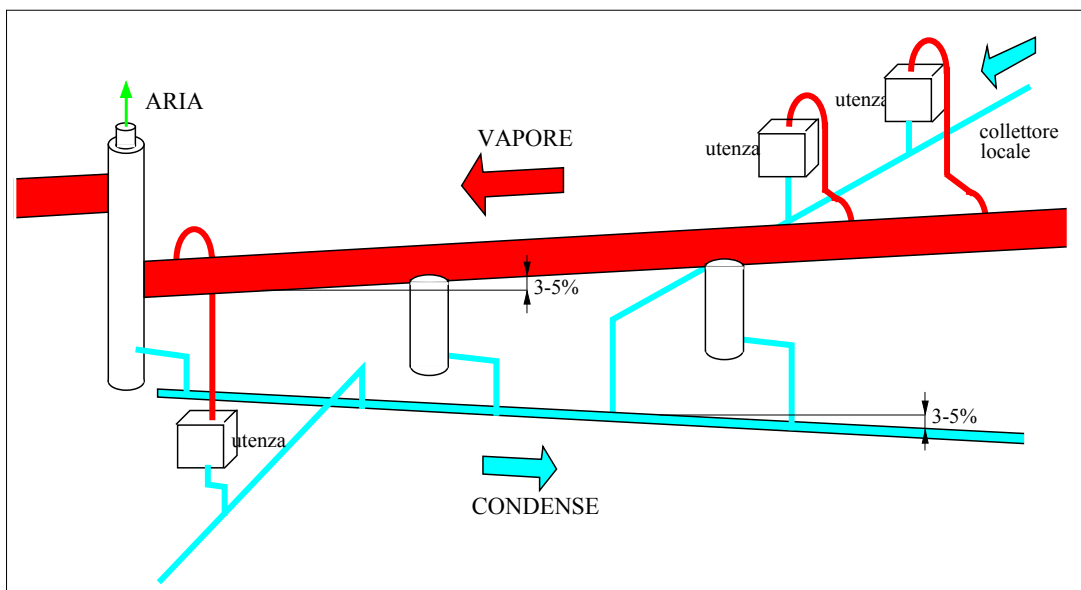


fig. 3.43. Schema di distribuzione del vapore e di ritorno delle condense.

Perciò, nei punti più alti si dispongono gli scaricatori d'aria, mentre in quelli più bassi sono inseriti i pozzetti degli scaricatori della condensa che si forma a causa dell'imperfetto isolamento termico. Gli scaricatori di condensa sono tutti collegati tra loro, mediante una rete di *ritorno delle condense*, che viene percorsa in senso opposto alla direzione del vapore nella tubazione di alimentazione.

Le tratte di tubazione molto lunghe, ed inclinate come detto, porterebbero ad un eccessivo abbassamento della quota, e vengono interrotte in corrispondenza di barilotti verticali di ripresa, dalla cui sommità riparte la tratta successiva. Tali barilotti servono da pozzetti degli scaricatori di condensa per la tratta precedente, e da torrini per lo spurgo dell'aria della tratta successiva. Un esempio di barilotto di ripresa è riportato in fig. 3.44.

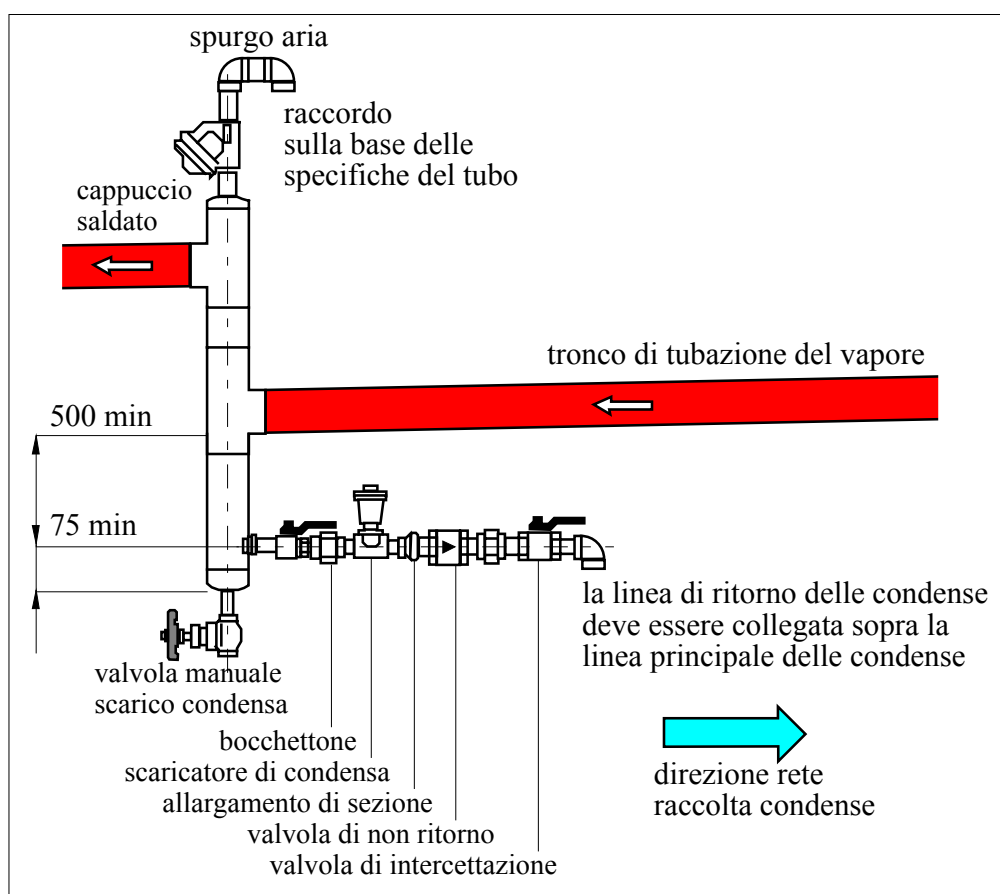


fig. 3.44. Particolare dell'applicazione di un barilotto di ripresa per lo scarico delle condense, lo spurgo dell'aria ed il raccordo alla linea principale di ritorno delle condense.

3.3.1.1. Scaricatori di Condensa

Possono essere usati vari tipi di dispositivi di controllo delle prestazioni degli scaricatori di condensa, come parte di un programma di manutenzione di questi apparecchi. Infatti, il problema è particolarmente importante, basti pensare che, in assenza di un programma di manutenzione, negli impianti di riscaldamento ambientale circa il 20% del vapore che lascia il generatore di vapore è perso attraverso le fughe dagli scaricatori di condensa. Tuttavia, si deve notare che un'attrezzatura semplice di controllo ed un programma iniziale di manutenzione può ridurre almeno a metà tali perdite; che una

strumentazione di classe intermedia ed un programma di manutenzione appena buono può ridurre le perdite di un'altra metà e che la migliore strumentazione, accompagnata da un ottimo programma di manutenzione, può ridurre le perdite di vapore all'1%.

Lo scaricatore di condensa è uno strumento semplice, che può reagire a 3 elementi: il vapore, la condensa e gli incondensabili (come l'aria). Se lo scaricatore avverte che esiste un flusso di vapore che lo attraversa, esso si dovrà chiudere per evitare gli sprechi.

Come visto sopra, c'è il pericolo di provvedere una rampa orizzontale troppo lunga tra l'uscita dell'utenza e l'ingresso nello scaricatore e creare l'allagamento dell'utenza. Inizialmente, lo scaricatore opera correttamente ma, se il flusso di condensato diminuisce a causa delle variazioni di processo, la lunga rampa orizzontale e lo scaricatore si possono riempire di vapore. Allora lo scaricatore di condensa si mette in posizione chiusa, e la condensa sopraggiungente non sarà in grado di fluire fino allo scaricatore, perché incapace di spostare il vapore. Dopo un certo periodo di tempo, il vapore nel tubo orizzontale condensa a causa delle perdite di calore del tubo, e la condensa arriverà allo scaricatore, quando esso, alla fine, sente la condensa e la scarica. Il processo intermittente di flusso della condensa causa i seguenti effetti:

- colpo d'ariete,
- caduta di temperatura,
- fluttuazioni del controllo di processo,
- difetto di trasmissione del calore.

Quindi, quando lo scaricatore di condensa fallisce l'apertura, la condensa rischia di entrare nel canale di scarico dell'utenza, causando diversi problemi:

1. poiché alcuni scaricatori funzionano male in presenza di elevate pressioni a valle, l'aumento di pressione nella linea del condensato può far nascere malfunzionamenti legati alla catena di controllo retroazionata, che parte anche da un singolo scaricatore malfunzionante,
2. la mancata chiusura determina il cattivo funzionamento degli scambiatori di calore, a sua volta dovuto all'accumulo di condensato,
3. il rischio di colpo d'ariete, aumenta quando la linea di ritorno della condensa contiene elevate quantità di vapore,
4. ad elevate pressioni, la valvola di sicurezza causa perdite di condensa dall'impianto,
5. in certi impianti, la perdita di condensa può essere dovuta addirittura all'intervento degli operatori sulle valvole manuali di by-pass degli scaricatori di condensa, nella disposizione vista anche in fig. 3.38. Con tali manovre, gli operatori tentano di svuotare dalla condensa gli scambiatori di calore e mantenere alta la produzione, ma contemporaneamente permettono al vapore di entrare nella linea di ritorno della condensa. Tali problemi, non solo diminuiscono le prestazioni del sistema, ma ingiustificatamente aumentano i costi operativi, a causa delle perdite di energia, di condensa e delle sostanze chimiche di trattamento dell'acqua di alimento.

Infatti, in un tipico impianto a vapore, la condensa di ritorno contiene anche l'energia spesa per il trattamento, conseguentemente eccessive perdite di condensa aumentano significativamente anche il consumo di agenti chimici per contrastare la corrosione ed aumentare le caratteristiche anticalcare. Infine, poiché tali agenti chimici tendono ad uccidere i batteri attivi negli impianti di trattamento delle acque reflue, le perdite di condensa non solo aggiungono carico all'impianto di trattamento finale, ma riducono anche il rendimento totale di produzione di energia.

Un corretto collegamento tra utenza e scaricatore di condensa è rappresentato in fig. 3.43. Come si vede e come detto sopra, il raccordo tra lo scaricatore e la linea di raccolta è volutamente molto corto per evitare la formazione, all'interno di essa, di un *tappo* di vapore, che determinerebbe l'allagamento dell'utenza, ed il cattivo funzionamento dell'impianto, detto *invasione* di vapore e che si verifica anche quando più utenze non funzionanti in sincronismo sono collegate alla stessa linea di scarico, oppure quando nella tubazione di ritorno si accumula aria.

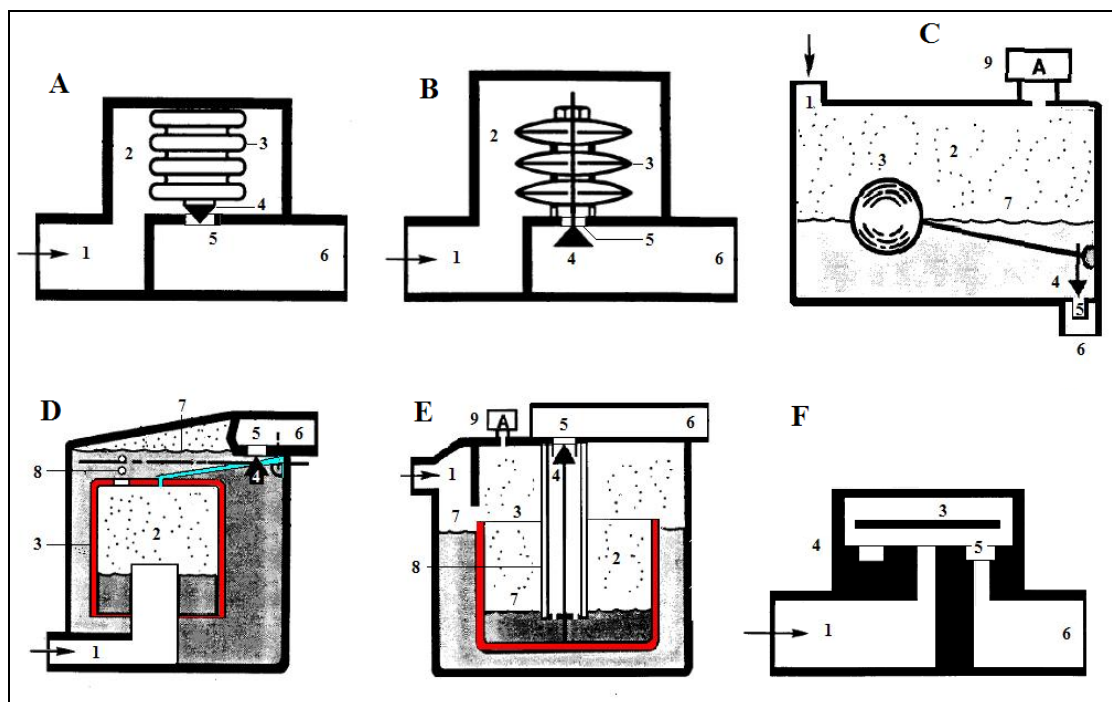


fig. 3.45. Esempi di scaricatori di condensa. A) a soffietto, B) termostatico a bimetallo, C) a galleggiante, D) a secchiello rovesciato con leva di chiusura, E) a secchiello diritto, F) termodinamico.

LEGENDA: 1 = ingresso vapore e condensa, 2: ambiente vapore e condensa, 3: elemento sensibile, 4: otturatore valvola di chiusura, 5: sede otturatore, 6: scarico condensa e vapore di flash, 7: livello pelo libero condensa, 9: spurgo aria, D) 8: bolle di vapore dal foro del secchiello, E) 8: tubo a sifone.

Esistono diversi tipi di scaricatori di condensa, rappresentati schematicamente in fig. 3.44:

- A. lo scaricatore a soffietto di fig. 3.44A, funziona in base alle variazioni di volume del liquido contenuto nel soffietto 3, derivanti dalla temperatura della condensa presente, quindi si tratta di scaricatore termostatico. L'aumento della temperatura favorisce la chiusura della valvola, e la relazione tra la temperatura e l'espansione del soffietto può portare a comportamenti molto diversi cambiando il fluido di riempimento. Usando l'acqua, le variazioni di pressione e temperatura all'interno del soffietto creano un'espansione identica a quella del vapore, e la pressione dentro e fuori al soffietto si bilanciano. Come lo scaricatore a bimetallo, anche quello a soffietto permette un rapido spurgo dell'aria all'avviamento,
- B. anche lo scaricatore di fig. 3.44B è termostatico, ma il comando di apertura viene attivato tramite la deformazione del bimetallo che compone l'attuatore 3,

in base alla temperatura della condensa presente. Gli aumenti di pressione a monte agiscono nel senso di favorire l'apertura della valvola. Tuttavia, anche i cambi della pressione a valle influenzano la temperatura alla quale lo scaricatore apre o chiude, e la relazione non lineare tra la pressione del vapore e la temperatura richiede un attento progetto dell'elemento bimetallico per un'adeguata risposta alle diverse pressioni operative,

- C. il tipo più semplice è quello a galleggiante di fig. 3.44C, in cui l'apertura della luce di deflusso della condensa è regolata dalla posizione del galleggiante 3,
- D. lo scaricatore a secchiello invertito di fig. 3.44D agisce in base alle differenze di densità tra liquido e vapore, quindi esso non può distinguere tra aria e vapore d'acqua, perciò si deve spurgare l'aria (ed un pò di vapore) attraverso il piccolo foro praticato sul coperchio del secchiello. Questo è un inconveniente, in confronto allo scaricatore termostatico, il quale, fino a quando non viene riscaldato dal vapore, rimane aperto, permettendo un facile deflusso dell'aria e, dopo che esso viene riscaldato si chiude e non si ha alcuno spurgo. È stato l'esame di questo inconveniente dello scaricatore a secchiello invertito, comune agli altri scaricatori meccanici semplici, che ha portato allo sviluppo degli scaricatori termostatici e di quello a galleggiante, nei quali lo spurgo dell'aria è riservato al funzionamento specifico dell'apparecchio,
- F. lo scaricatore termodinamico di fig. 3.44F è comandato dalle differenze di pressione tra vapore e condensa nella tubazione, le quali determinano la velocità di impatto del flusso attraverso la luce dello scaricatore. Se ne costruiscono a disco, a pistone ed a leva, ma il loro principio di funzionamento è lo stesso di quello a disco di fig. 3.44F. Quando la condensa sottoraffreddata entra nello scaricatore, l'aumento di pressione alza il disco e permette alla condensa di fluire nella camera e fuori dallo scaricatore, seguendo il primo principio della Termodinamica e la legge di Bernoulli. Nell'attraversamento della luce, la condensa aumenta un pò di temperatura e cala di pressione, ed eventualmente cambia di fase con un piccolo flash. Questo comporta un incremento della velocità ed una diminuzione di pressione, che causa il ritorno del disco in posizione di chiusura. La modesta pressione del vapore di flash sopra il disco agisce sull'intera superficie del disco e crea una forza maggiore di quella esercitata dalla pressione più elevata del vapore e della condensa all'ingresso, ma che agisce sulla superficie molto minore dell'altra faccia del disco. Successivamente, la camera superiore del disco si raffredda, il vapore del flash condensa, e la condensa a monte ha una pressione sufficiente ad aprire di nuovo la luce, ripetendo il ciclo.

3.3.1.2. Dimensionamento delle Reti di Vapore

In fig. 3.46 sono rappresentati schematicamente i principali accessori di un generatore di vapore e lo schema della rete di distribuzione.

tab. 3.XIX. Valori consigliati della perdita di carico distribuita delle tubazioni.

pressione di esercizio massima	perdita di carico [bar/m]	
	minima	massima
2bar	0.001	0.003
10bar	0.003	0.01
> 10bar	0.01	0.02

In molti impianti la linea di ritorno della condensa non è presente, sia perché l'utilizzatore non prevede la possibilità di recupero, o perché il vapore è direttamente fluido termovettore e fluido di processo. In questi casi, è opportuno prevedere un sistema di preriscaldamento dell'acqua di alimento (l'economizzatore del generatore di vapore visto in fig. 3.38), eventualmente abbinato ad un impianto di spurgo continuo, in alternativa al trattamento dell'acqua.

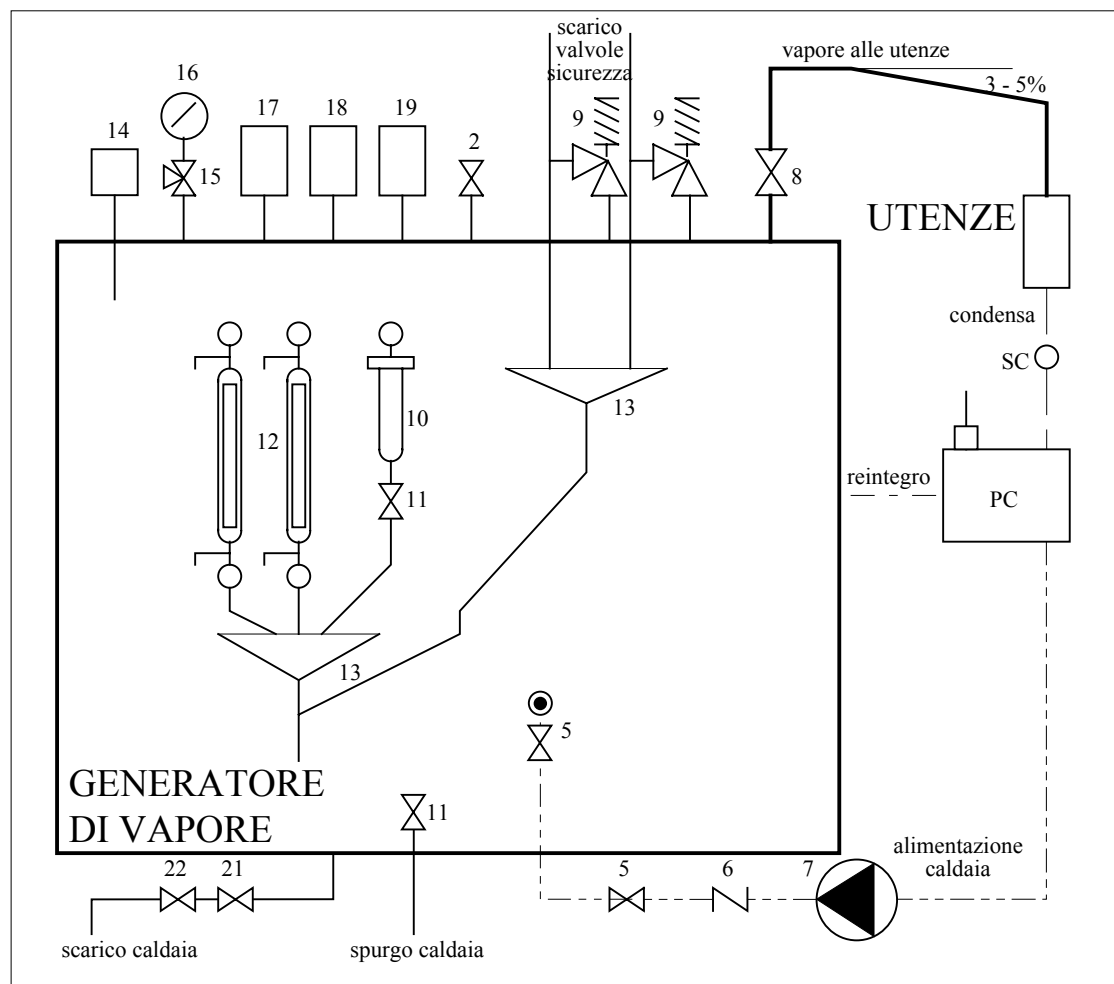


fig. 3.46. Schema di impianto a vapore.

LEGENDA. 1) generatore di vapore, 2) valvola di regolazione, 5) valvola di regolazione, 6) valvola di non ritorno, 7) pompa di alimentazione, 8) valvola presa vapore, 9) valvole di sicurezza, 10) regolatore di livello, 11) valvola di intercettazione, 12) indicatori di livello, 13) imbuto di scarico, 14) sonda di sicurezza termostatica, 15) rubinetto a 3 vie con flangia di prova, 16) manometro, 17) pressostato limite, 18) pressostato di regolazione, 19) pressostato di blocco a riarmo manuale, 21) valvola di intercettazione, 22) valvola di scarico rapido. SC scaricatore di condensa, PC pozzo caldo disaeratore.

In fig. 3.47 è riportato l'abaco del vapore, il quale consente di determinare, in funzione della pressione, della velocità e della portata di vapore, il diametro interno dei canali. I valori di velocità posti a base del progetto sono variabili tra 10 e 40m/s per il vapore saturo e tra 15 e 60m/s per il vapore surriscaldato. In tab. 3.XIX sono riportati i valori consigliati delle perdite di carico distribuite per le canalizzazioni del vapore, utili

per l'individuazione di massima dei diametri interni, in combinazione con i dati dell'abaco di fig. 3.47.

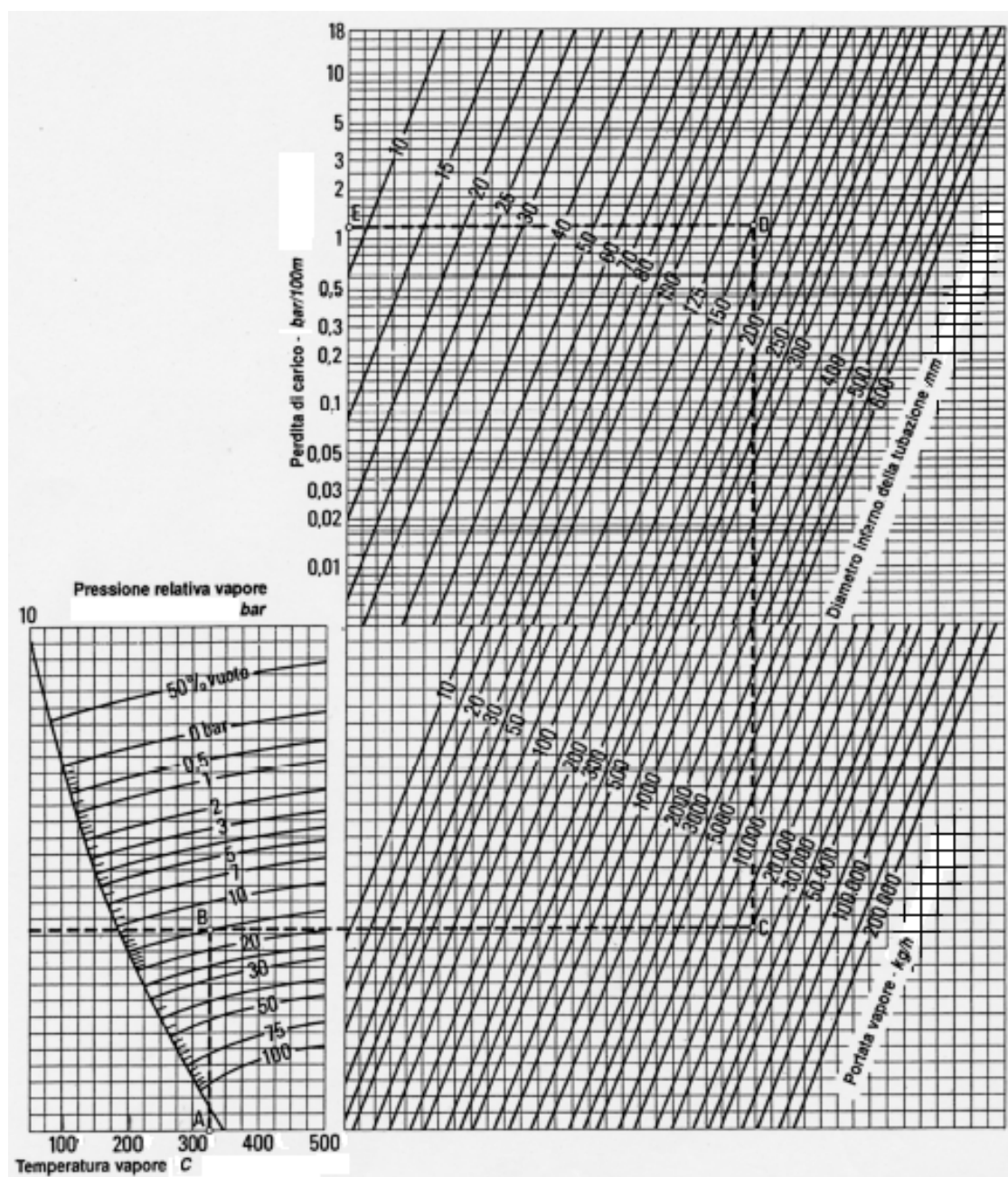


fig. 3.47. Abaco del vapore. Legame tra pressione, velocità, portata di vapore e diametro interno del tubo.

Naturalmente, per il progetto della rete di distribuzione del vapore, la scelta del diametro interno del tubo, eseguita per ogni tratto con l'abaco di fig. 3.47 e la tab. XIX, deve essere integrata dalla determinazione delle perdite di carico distribuite e localizzate. Per queste ultime, si può far riferimento a tabelle del tipo di tab. 3.XX, in cui i valori esprimono la perdita di carico in termini di lunghezza equivalente di tubo rettilineo.

tab. 3.XX. Perdite di carico localizzate nelle tubazioni, espresse in lunghezza equivalente di tubo rettilineo [m].

	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	2"	2.1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"
gomito 90°	0.8	1	1.3	1.4	1.7	2	2.2	3	3.7	4.5					
curva 90°	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.7	2	2.5	3.5	4.5	6	8	12
curva 45°	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.85	1	1.25	1.75	2.25	3	4	6
giunto a lira	3	3.6	4.2	4.8	5.4	6	7.2	10.2	12	15	21	27	36	48	72
valvola globo	6	6.5	8	10	12	14	16	20	25	30	42	60	75	100	150
saracinesca	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	3	4	5	8
T in linea	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	1	1.2	1.6	2.1	2.5	3.5	5	6	8	12
T derivazione	0.6	0.9	1.2	1.5	2.4	3	3.8	5	6.3	7.5	10	15	18	24	38
separatori		3	3.5	4	4.5	5	5.5	8	9.5	15	20	22	31	41	50

Esempio

In fig. 3.47 determinare il diametro interno del tubo necessario per trasferire 1.5Mg/h di vapore saturo secco alla pressione di 15bar. Dopo aver scelto la velocità di 20m/s, il diametro cercato risulta di 55.

Nello stesso abaco è possibile ricavare una qualsiasi delle variabili, note le altre 3, con lo stesso procedimento grafico.

Esempio

Facendo ancora riferimento all'esempio precedente, nel quale si è determinato il diametro interno di 55 per trasferire 14.5 Mg/h di vapore saturo secco alla temperatura di 200C e pressione di 15bar, si ricava dall'abaco di fig. 3.47 che la perdita di carico distribuita della tubazione da 55 e della lunghezza di 200m è di 2.2bar.

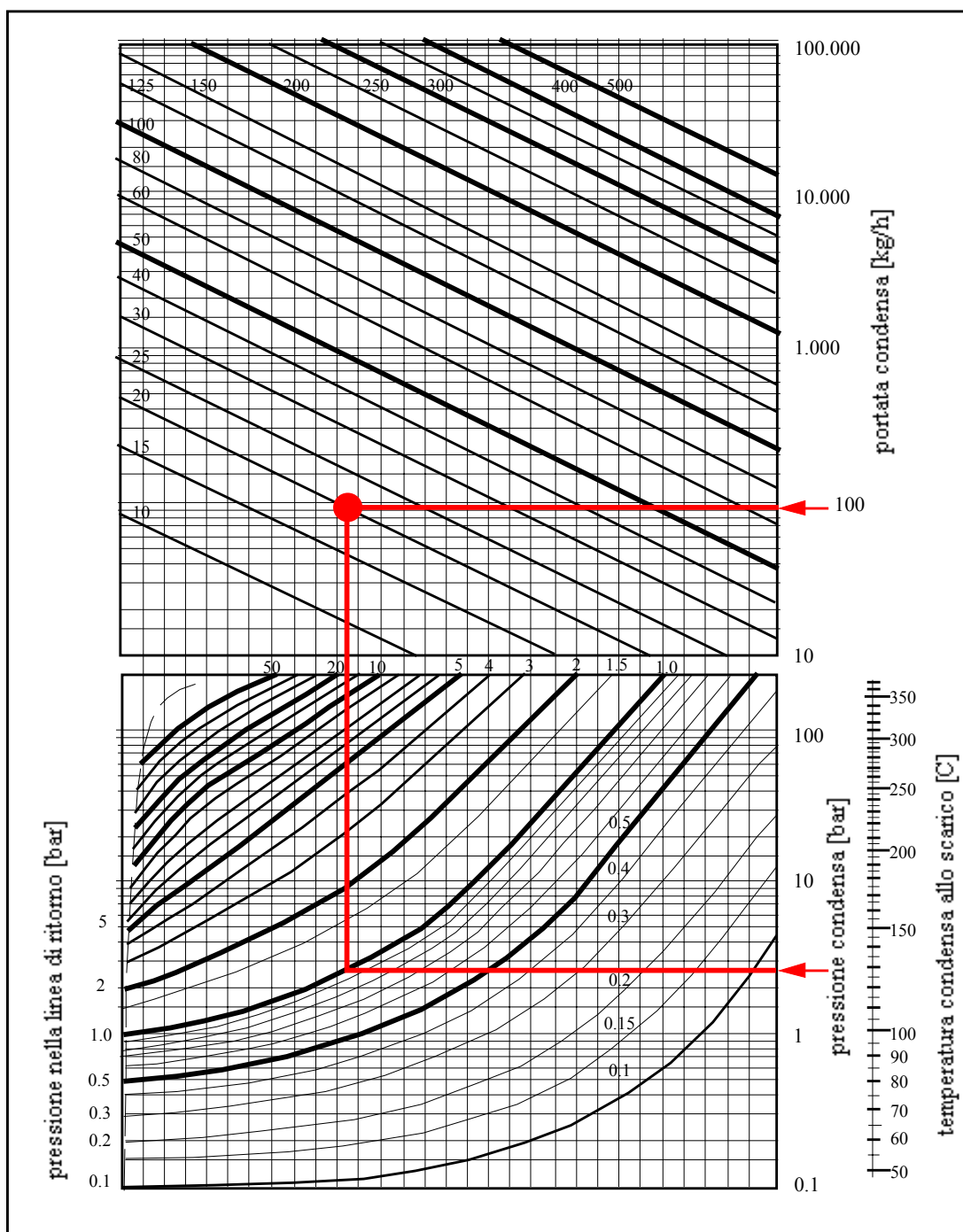
Dalla tab. 3.XX ed entrando al DN2" (corrispondente ad un diametro interno di 55), se si immagina di avere 4 curve a 90°, 2 valvole a globo e 2 giunti a lira, le perdite di carico localizzate ammontano a 50m di tubo rettilineo equivalente. Poiché dall'abaco di fig. 3.46 la perdita di carico distribuita è di 1.1bar/100m, la perdita di carico totale è $1.1 \cdot 250/100 = 2.75\text{bar}$.

Se l'utenza richiede una pressione di esercizio inferiore a $15 - 2.75 = 12.25\text{bar}$, il dimensionamento è corretto. In caso contrario, il conto deve essere ripetuto per diametri superiori.

3.3.1.3. Dimensionamento delle Reti di Condensa

Per il calcolo della rete di ritorno delle condense è necessario far riferimento alle seguenti buone regole della tecnica:

- la velocità del vapore di rievaporazione (conseguente alla perdita di pressione, che viene convertita in energia termica ed alle perdite di calore verso l'esterno per imperfetto isolamento termico), viene considerata nel campo 10÷130m/s,
- la perdita di carico distribuita da assegnare alla condensa, scaricata alla temperatura del vapore saturo, viene considerata dell'ordine di 0.2bar/100m di tubo rettilineo equivalente. Anche nel caso di condense a temperatura pari o minore di 100C ed alla pressione atmosferica o superiore, quindi con condensa completamente allo stato liquido, come all'avviamento dell'impianto, la perdita di carico viene assunta ugualmente dell'ordine di 0.2bar/100m di tubo rettilineo equivalente,



Settore inferiore	Settore superiore
Coordinata verticale: pressioni e temperature della condensa allo scarico, riferite alla condensa immediatamente a monte dello scaricatore (da 0.1 a 125bar,a) Curve: pressioni nella rete di recupero condensa (o contropressione) valutate immediatamente a valle dello scaricatore (da 0.1 a 50bar,a)	Rette: diametri interni tubazioni, in millimetri (da 10 a 500mm), coordinata verticale: portate di condensa (da 10 a 100.000kg/h)

fig. 3.48. Abaco per il dimensionamento delle linee di ritorno della condensa.

3. SERVIZI AZIENDALI

- la portata di condensa da considerare è quella normale di regime, in quanto la minor temperatura e la rievaporazione all'avviamento dell'impianto possono ritenersi equivalenti e tali da compensare nel tempo la maggiore condensazione iniziale,
- le pressioni da considerare (coincidenti con quelle dell'abaco di fig. 3.47) sono da ritenere presenti immediatamente a valle degli scaricatori di condensa. Esse sono create in generale da risalite finali di condensa e, più raramente dalla presenza di serbatoi pressurizzati a valle. Per le risalite si trascurano gli attriti e si considera solo il battente. Nel caso di risalite non finali, non si tiene conto della risalita,
- in caso di condense sottoraffreddate prima dello scarico, e quindi a temperatura più bassa di quella di saturazione, è meglio utilizzare la variabile temperatura, invece della variabile pressione.

tab. 3.XXI. Contropressione consigliata massima, dovuta alla rievaporazione.

Pressione vapore [bar]	Contropressione [bar]	
	minima	massima
10	1	1.5
15	2	3
20	3	4
30	5	6

Bisogna essere particolarmente attenti alle utenze aventi una regolazione automatica della temperatura, che possa ridurre a valori minimi la pressione di esercizio effettiva dell'utenza (come accade negli scambiatori di calore, serbatoi con produzione di acqua calda, processi tecnologici, ecc.). In questo caso, bisogna escludere qualsiasi innalzamento e qualsiasi serbatoio in pressione, onde evitare la formazione di colpi d'ariete ed irregolarità di interventi del termoregolatore, quindi oscillazioni indotte sulla temperatura controllata. Dovendo necessariamente superare dislivelli o collegarsi a serbatoi in depressione, si debbono neutralizzare gli effetti installando dopo lo scaricatore una pompa di rialzo, con sfiato atmosferico.

Negli impianti con scarico per gravità e fino a 4÷5bar, normalmente la contropressione imposta al serbatoio di recupero dei ritorni di condensa è quella atmosferica. Se invece è inserito un rievaporatore, la contropressione finale è generalmente dell'ordine di 0.3÷0.5bar. A questa devono quindi essere aggiunti gli attriti al flusso. Per pressioni di esercizio superiori, la contropressione massima dovuta alla rievaporazione viene consigliata ai valori di tab. 3.XXI, comprendendo in essi anche l'innalzamento finale eventualmente presente.

3.3.1.4. Vaso di Raccolta della Condensa (pozzo caldo)

Il pozzo caldo deve avere una capacità di almeno 1.5 volte la produzione oraria di vapore dell'impianto. Un esempio di degasatore di piccole dimensioni, che funge anche da pozzo caldo, è rappresentato in fig. 3.49.

Inoltre, è obbligatorio tener conto della temperatura della condensa installando il pozzo caldo ad una quota superiore a quella della pompa di una quantità sufficiente ad evitare ogni fenomeno di cavitazione. Come è noto, i battenti minimi di fig. 3.50 devono essere riferiti alla pressione minima locale sulle pale della girante.

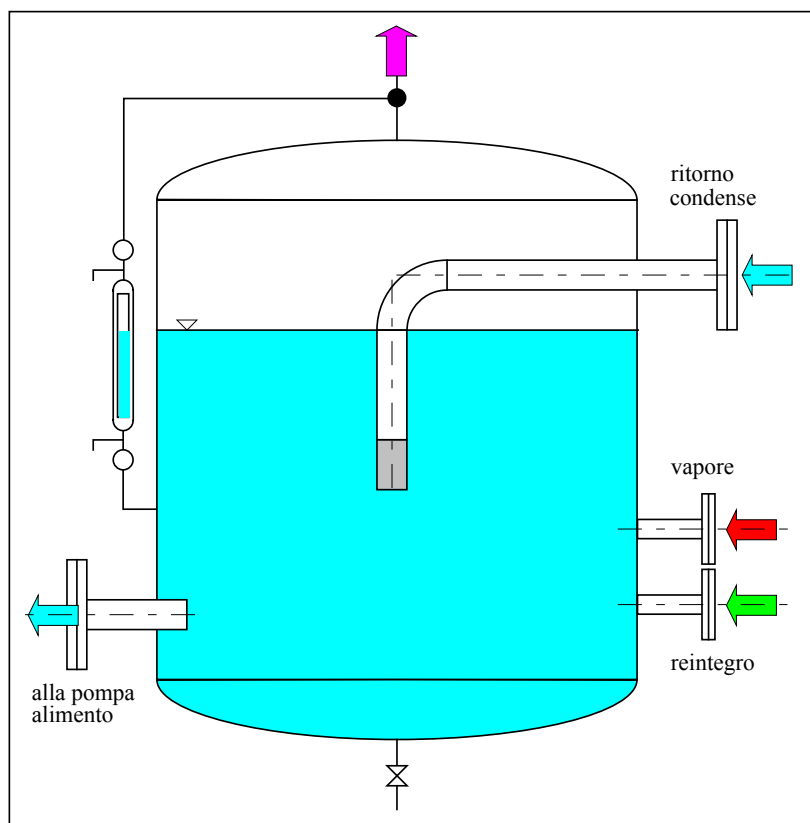


fig. 3.49. Pozzo caldo degasatore di piccole dimensioni.

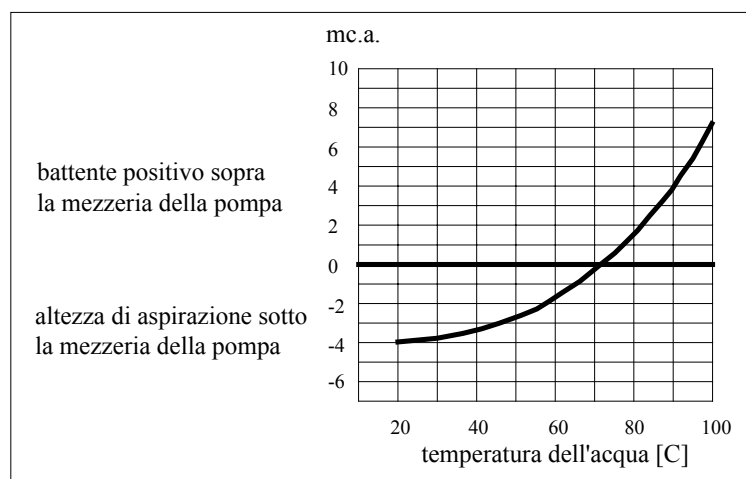


fig. 3.50. Esempio di condizioni di buon funzionamento della pompa di alimento, altezza di aspirazione e battente assoluti sulla zona critica delle pale della girante.

3.4. CAPTAZIONE DELLE POLVERI

In generale, le polveri degli ambienti industriali sono costituite da particelle solide di dimensioni variabili dal submicroscopico al visibile. Negli ambienti industriali esse prendono origine nelle lavorazioni di materiali solidi (macinazione, frantumazione, ecc.) in molti processi meccanici (rettifica, molatura, lucidatura, sbavatura ecc...), della gomma e della plastica, del legno, chimica, tessile, agricola, alimentare ecc. ed in numerose tecnologie. La loro presenza in concentrazione elevata rende nociva l'atmosfera ambiente ed è necessario procedere al loro abbattimento. Prima di considerare gli impianti di captazione ed abbattimento, è opportuno richiamare alcune nozioni elementari di dinamica delle particelle.

3.4.1. Dinamica delle particelle

Le polveri di piccole dimensioni abbandonate in aria calma non cadono aumentando la loro velocità secondo la legge dei gravi, ma raggiungono rapidamente una condizione di equilibrio tra la forza peso e la resistenza fluidodinamica del mezzo. Ciò è da imputare alla loro area superficiale, che è molto estesa rispetto alla massa. In tale condizione di equilibrio dinamico corrisponde una velocità uniforme di caduta v_s , facilmente determinabile. Infatti, se si trascura il peso specifico dell'aria in confronto a quello della particella solida, considerata per semplicità di forma sferica con diametro d , la forza di gravità F_p risulta:

$$F_p = \rho \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6}$$

essendo ρ la densità della particella, in kg/m^3 . D'altra parte, la resistenza del mezzo F_r , nel caso di particelle sferiche con diametro inferiore ad un valore di circa $500\mu\text{m}$, per le quali la caduta si verifica in moto laminare rispetto al mezzo nel quale sono immerse, si può esprimere mediante la legge di Stokes:

$$F_r = 3 \cdot \pi \cdot d \cdot \mu \cdot v_s$$

essendo μ la viscosità dinamica dell'aria. La velocità uniforme di caduta v_s (detta velocità relativa di sostentamento) si ottiene dalla condizione di equilibrio dinamico corrispondente ad $F_p = F_r$, cioè:

$$v_s = \frac{\rho \cdot g \cdot d^2}{18 \cdot \mu} \quad (3.23)$$

I valori di v_s che si ricavano sono molto bassi. Ad esempio, con $\rho = 1.000\text{kg/m}^3$, la velocità di sostentamento è pari a $0,3\text{m/s}$, con particelle di diametro equivalente di $100\mu\text{m}$ e pari a $0,1\text{m/s}$ con quelle aventi diametro equivalente di $60\mu\text{m}$. Di conseguenza, le polveri con tali caratteristiche possono rimanere sospese nell'aria ambiente per lungo tempo e si possono addirittura considerare come facenti parte di essa. Inoltre, se, come accade solitamente, nell'ambiente esistono moti convettivi dell'aria, anche di velocità moderata, ma superiore a v_s , i moti convettivi esercitano un'azione di trascinamento sulle particelle, diffondendole nell'ambiente stesso.

Invece, le particelle più grandi, soggette all'azione della gravità, si depositano rapidamente senza diffondersi nell'aria ambiente. Esse vengono chiamate *inerziali*, per distinguerle da quelle *fini*, che presentano il comportamento descritto sopra. Comunque, è importante osservare che, data la complessità del fenomeno e l'influenza di vari parametri, tra i quali l'energia cinetica posseduta dalla particella all'atto della sua

metri, tra i quali l'energia cinetica posseduta dalla particella all'atto della sua formazione e la velocità dell'aria ambiente, risulta difficile fare una distinzione netta tra particelle fini ed inerziali.

In fig. 3.51 sono rappresentate le caratteristiche salienti delle particelle e delle dispersioni di particelle in aria.

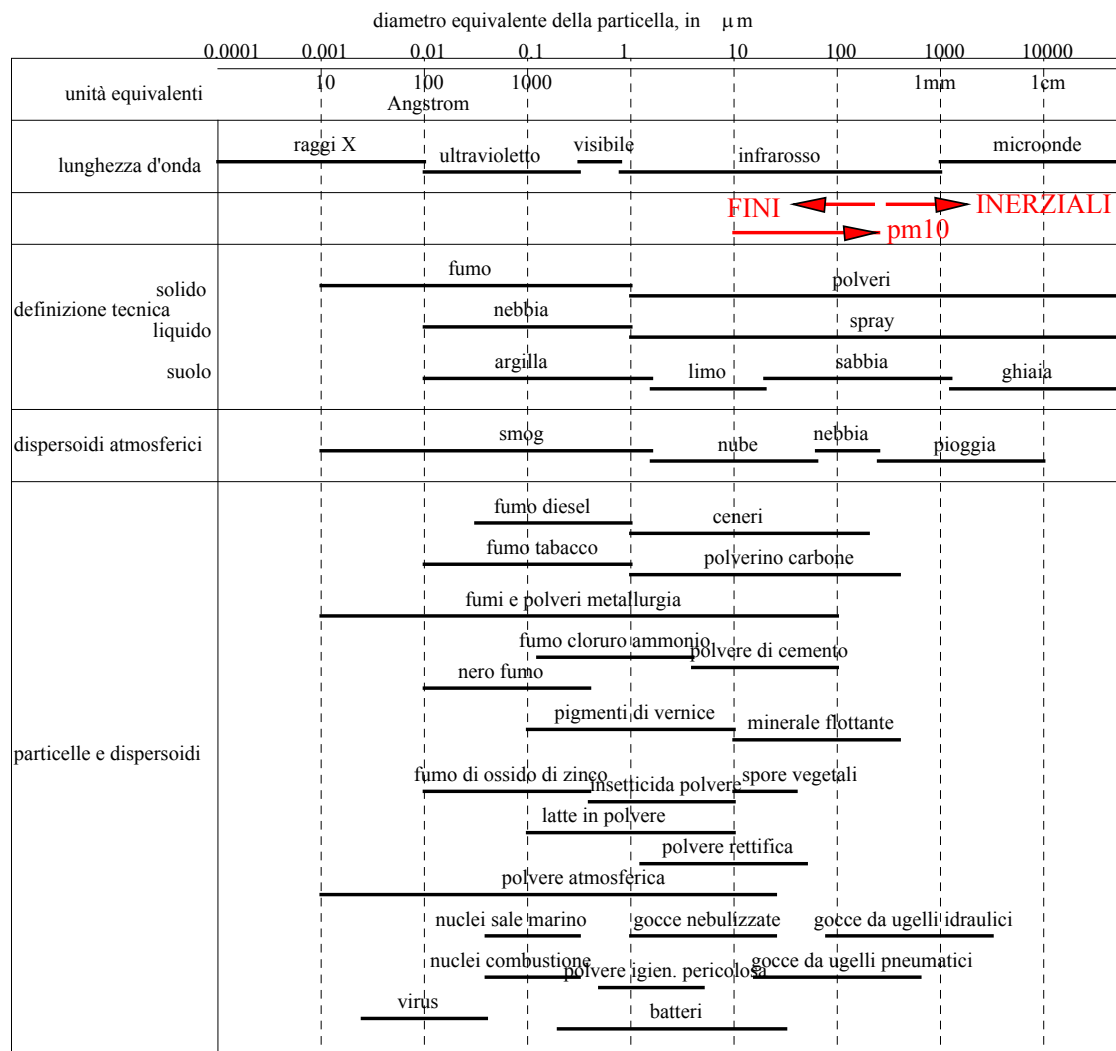


fig. 3.51. Tavola delle definizioni e confronto delle dispersioni in atmosfera.³

3.4.2. Captazione delle Polveri

In ultima analisi risulta comunque evidente la necessità di provvedere con appositi impianti ad eliminare le particelle che non si depositano spontaneamente, al fine di evitare pericoli di contaminazione dell'atmosfera ambiente.

È spontaneo pensare che tale eliminazione è più conveniente se effettuata in corrispondenza della sorgente. Per rimuovere le particelle in prossimità del punto in cui si formano, è necessario assicurare, in corrispondenza dello stesso, un flusso d'aria avente una velocità sufficiente a trascinare le particelle stesse. Infine, dato che esse tendono a

³ R.H. Perry, D.W. Green, J.O. Maloney, Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th ed. Mc Graw-Hill Co, pag. 20-78, 1984

dispersi nell'ambiente a causa dell'energia cinetica di cui sono dotate alla formazione, è opportuno circoscrivere ed isolare la sorgente con cappe, cabine od altre chiusure, ove viene convogliato il flusso di aria di captazione. Di conseguenza, un impianto di captazione delle polveri risulta costituito almeno dai seguenti elementi, come schematizzato in fig. 3.52:

- cappe aspiranti, talora costituite direttamente dalla condotta aspirante,
- canalizzazioni che collegano le cappe al separatore,
- separatore delle polveri,
- ventilatore di aspirazione,
- condotto di scarico in atmosfera.

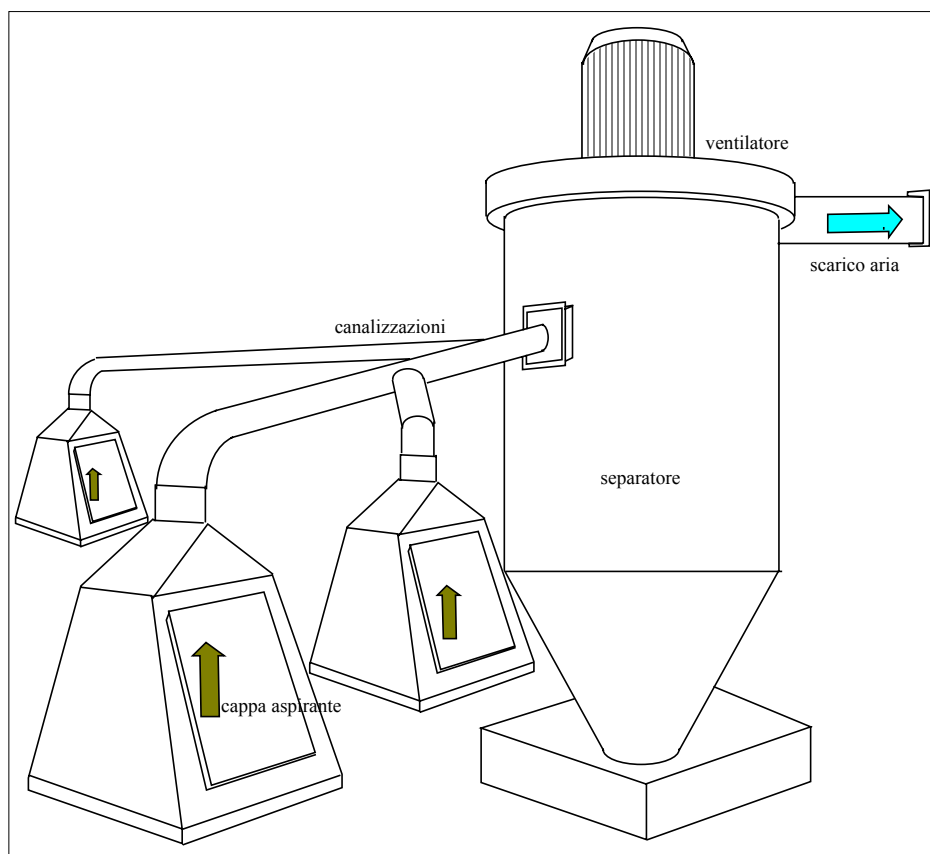


fig. 3.52. Schema di impianto di captazione di polveri.

Prima di prendere in esame i criteri di progettazione degli impianti, è necessario accennare ai complessi fenomeni che regolano la captazione delle polveri. Se si considera una sorgente di aspirazione puntiforme S , il flusso d'aria verso di essa risulta identico in tutte le direzioni e la sua velocità è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente. Infatti, il luogo dei punti dotati della stessa velocità risulta una sfera ed attorno alla sorgente puntiforme si vengono a creare superfici ideali chiamate *superfici di contorno*. Poiché la velocità dell'aria aumenta all'avvicinarsi alla sorgente, si stabiliscono anche le linee di flusso indicate in fig. 3.53A.

Dato che in pratica, invece che una sorgente puntiforme, si ha una cappa, oppure un semplice condotto aspirante, interessa rilevare come le superfici di contorno e le linee di flusso variano rispetto al caso precedente. Come si può vedere in fig. 3.53B, dove considera l'aspirazione avvenire attraverso l'estremità di una condotta circolare, in prossimità dell'apertura le superfici di contorno non sono più sferiche e le loro tracce (curve

di livello della pressione) hanno un andamento sensibilmente diverso dal caso teorico precedente. Tale fenomeno risulta particolarmente accentuato in corrispondenza dei bordi della condotta. Tuttavia, allontanandosi dall'apertura, le superfici di contorno tendono allo schema precedente della sorgente puntiforme. Risulta quindi evidente che l'influenza della forma della cappa diminuisce allontanandosi dalla bocca di aspirazione ed in prima approssimazione possono essere usati i risultati del modello più semplice.

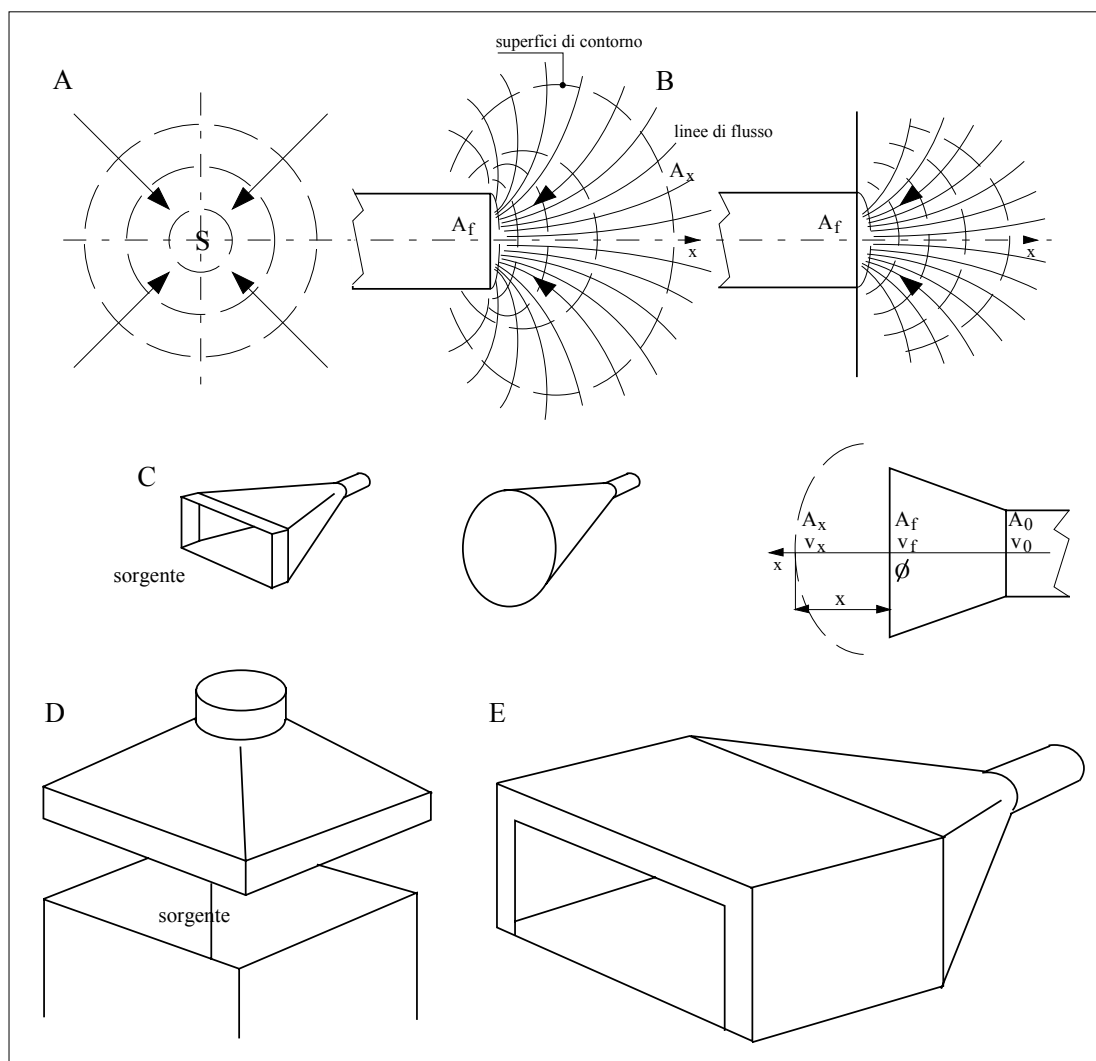


fig. 3.53. Modelli di flusso dell'aspirazione. A) sorgente puntiforme S , B) sorgente a condotta, C) cappa a tronco di cono e piramide, D) cappa a baldacchino per vasche, setacci, ecc, E) cabina per impianti di verniciatura, ecc.

Nella pratica, il caso esaminato di aspirazione attraverso il semplice condotto non risulta il più comune, e viene impiegato solo in casi particolari, quando ad esempio l'aspirazione è ricavata direttamente nei banchi di lavoro.

Invece, per circoscrivere le sorgenti inquinanti, in generale si adottano le **cappe**, per lo più a tronco di cono o di piramide. In questo caso, l'andamento delle curve di livello della pressione non viene sostanzialmente variato dalla presenza della cappa ed è sufficiente prendere in esame, al posto della sezione terminale della condotta aspirante, quella terminale del tratto a tronco di cono e di piramide. Quest'ultima sezione, chiamata se-

zione frontale od apertura della cappa, la cui **superficie** viene indicata con A_f e riveste una notevole importanza sulla perdita di carico ai fini progettuali. Invece, la **forma** della cappa influisce notevolmente sulla perdita di carico localizzata che si verifica all'imbocco.

In linea generale, si può distinguere tra cappe per aspirazioni locali, cappe a baldacchino e cabine.

Le **cappe** per captazioni **locali** risultano di solito di limitato ingombro e vengono ubicate molto vicino alla sorgente inquinante, ad esempio appoggiate nei banchi di lavoro, come in fig. 3.53C. Le **cappe a baldacchino** sono sospese sopra la sorgente inquinante ed effettuano l'aspirazione dall'alto, come in fig. 3.53D. Chiudendo alcune delle superfici laterali comprese tra la cappa a baldacchino e la sorgente inquinante, si ottengono le **cabine** di fig. 3.53E. Le cappe di maggiore impiego per la captazione delle polveri sono quelle a captazione locale, mentre - per il trattamento di gas, fumi e vapori - vengono preferibilmente utilizzate quelle a baldacchino e le cabine.

3.4.3. Progettazione dell'Impianto

Per rimuovere le particelle inquinanti nel punto in cui si formano, risulta necessario assicurare in corrispondenza dello stesso, o nelle immediate vicinanze, un flusso d'aria dotato di una velocità in grado di assicurare il trascinamento delle particelle. A tal fine, essa deve risultare superiore alla velocità di fuga delle particelle, che è quella con cui le polveri tendono ad allontanarsi dalla sorgente, ad esempio per azione dell'energia cinetica conseguente alla formazione.⁴ I valori delle velocità atte al trascinamento vengono determinati sperimentalmente.⁴

Ciò premesso, nel progettare gli impianti di aspirazione, l'economicità dell'esercizio consiglia di ridurre al massimo la portata d'aria V , necessaria alla captazione, ad esempio contenendo le *superfici di contorno*. Come si vede a destra di fig. 3.53B, la semplice condotta circolare viene munita di una flangia piana. Sperimentalmente, si rileva che, a parità di capacità di captazione, la portata d'aria V può essere ridotta del 20÷30%, in confronto al caso senza flangia. Nel caso delle cappe, si cerca di adattarle alla sorgente inquinante, come si può vedere in fig. 3.53D e fig. 3.53E, dove sono rappresentate cappe adatte a lavorazioni specifiche.

In primo luogo, generalmente si sceglie la forma della cappa e la sua posizione rispetto alla sorgente industriale inquinante, ed in seguito si ricava la portata d'aria V necessaria. Di solito la determinazione della forma della cappa trova soluzione in proposte sperimentali, tenendo conto di quanto espresso in precedenza e prendendo in esame modelli di cappe già impiegate allo scopo. In particolare, la portata d'aria viene calcolata avvalendoci di relazioni ricavate sperimentalmente.

Con riferimento alla fig. 3.53B e fig. 53C, per i semplici canali aspiranti circolari vale la:

$$\frac{\psi}{100 - \psi} = 0.1 \cdot \frac{A_f}{x^2}$$

dove ψ risulta:

⁴ GF. Coli, *Eliminazione delle Polveri dagli Ambienti di Lavoro*, L'Installatore Italiano, sett. 1997.

$$\psi = 100 \cdot \frac{v_x}{v_f}$$

Qui v_x indica la velocità alla distanza x dall'apertura, in corrispondenza della superficie di contorno dove le polveri devono essere captate (velocità di trascinamento) e v_f quella in corrispondenza dell'apertura (velocità frontale), per cui si ottiene:

$$\psi = \frac{10 \cdot A_f}{x^2 + 0.1 \cdot A_f}$$

ed, infine, per la continuità:

$$V = v_f \cdot A_f = v_x \cdot (10 \cdot x^2 + A_f) \quad (3.24)$$

Questa relazione afferma che il valore A_x della superficie di contorno alla distanza x dall'apertura, cioè nella zona dove ha luogo la captazione, risulta una funzione di x e della superficie A_f dell'apertura stessa.

Si può determinare come diminuisce la velocità v_x al crescere della distanza x dall'apertura. A titolo di esempio, in fig. 3.54 viene riportato l'andamento della velocità v_x , espresso in percentuale di v_f , cioè:

$$\psi = 100 \cdot \frac{v_x}{v_f}$$

per diversi valori di A_f dell'apertura, caratterizzati da diametro della tubazione. È facile osservare che la velocità v_x diminuisce rapidamente al crescere della distanza x , cioè allontanandoci dall'apertura. Ciò conferma la convenienza di disporre la cappa il più vicino possibile dalla sorgente inquinante. Poi, si vede che v_x diminuisce tanto più rapidamente quanto minore risulta il valore del diametro $\varnothing$, e quindi della sezione A_f dell'apertura. Questo fenomeno va tenuto presente nella scelta e nel posizionamento della cappa.

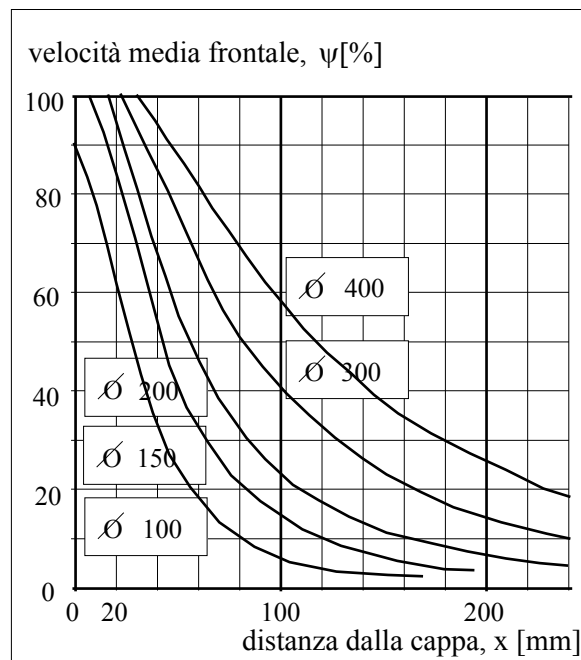


fig. 3.54. Andamento delle velocità esterne alla cappa.

La (3.24) è stata ricavata sperimentalmente per la captazione attraverso le aperture circolari. Tuttavia, in via approssimativa, essa è applicabile anche per cappe di forma diversa. Esistono comunque casi in cui risulta necessario apportare modifiche alle formule ed, allo scopo, si considerano alcuni casi particolari, ma comuni.

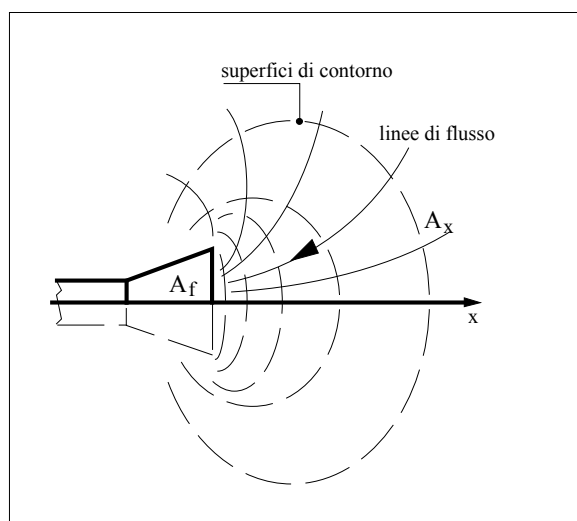


fig. 3.55. Studio del funzionamento della cappa appoggiata sul piano di lavoro.

Dal punto di vista geometrico, le cappe appoggiate ai piani di lavoro risultano essere costituite da una sola delle porzioni che si ottengono sezionando con un piano meridiano una cappa normale, come rappresentato in fig. 3.55. Le superfici di contorno hanno lo stesso andamento di quando si è in presenza di entrambe le porzioni, cioè quando l'apertura della cappa è $2 A_f$. Di conseguenza, per tener conto della presenza del piano orizzontale che dimezza le superfici, sul piano operativo si ha:

$$A_x = \frac{10 \cdot x^2 + 2 \cdot A_f}{2} = 5 \cdot x^2 + A_f \quad (3.25)$$

Inoltre, quando si hanno cappe dotate di flangie, bisogna tener conto dell'ulteriore diminuzione di portata del 20÷30%, di cui si è già parlato. A tale scopo, la portata V , calcolata considerando per A_x il valore dato dalla (3.25), va diminuita di altrettanto.

tab. 3.XXII. Condizioni di dispersione delle particelle.

Condizioni di dispersione della polvere	Tecnologia di produzione tipica	Velocità di captazione v_x [m/s]
Bassa velocità, ambienti con aria a velocità moderata	Trasportatori a bassa velocità, saldatura, ecc.	0.5÷1
Media velocità in aria in rapido movimento	Frantoi, trasportatori a media velocità, ecc.	1÷2.5
Alta velocità in zone con aria in movimento molto elevato	Rettificatrici, macchine di lavorazione superficiale, ecc.	2.5÷10

Quando la superficie frontale della cappa è praticamente una fessura, cioè in particolare quando il rapporto h/L tra i lati è inferiore a 0.2, per il calcolo della sezione A_x conviene impiegare la relazione:

$$A_x = 3.7 \cdot L \cdot x$$

e, se si ha anche una flangiatura:

$$A_x = 2.8 \cdot L \cdot x$$

per tener conto della consueta riduzione.

In definitiva, dal posizionamento della cappa - o della semplice condotta nel caso sia assente la cappa - risulta nota la distanza x , mentre la velocità v_x si ricava mediante tabelle del tipo di tab. 3.XXII. A questo punto, per arrivare alla sezione A_x con le relazioni viste, e quindi alla portata d'aria V , occorre conoscere anche il valore della sezione frontale A_f della cappa.

Per alcune lavorazioni e macchine particolari, che comportano la produzione di polveri ed in cui l'aspirazione viene effettuata mediante semplici condotte, i costruttori forniscono direttamente i valori sperimentali della portata d'aria necessaria V , semplificando notevolmente il progetto dell'impianto. A titolo di esempio, in tab. 3.XXIII sono riportati i valori della portata, il diametro della condotta previsto sulla macchina e la perdita di carico localizzata (o la depressione statica richiesta alla connessione tra macchina ed impianto).

tab. 3.XXIII. Richieste d'aria di captazione.

Tipo di impianto	Diametro condotta [m]	Depressione statica [Pa]	Portata aria [m ³ /s]
Granigliatrice Pangborn 3GO continua a buratto	0.50	700	4.3
Granigliatrice Pangborn ES 385 continua	0.65	700	7.0
Cubilotto ghisa da 18Mg	1.10	1.000	17.5
Macchina formatrice a cassa d'anima calda Sutter a 2 stazioni	0.65	800	5.8

tab. 3.XXIV. Limiti di velocità per un buon trascinamento delle polveri.

Tipo di polvere	v_x [m/s]
Smerigliatrice	7÷10
Rettificatrice	15÷20
Fonderia (distaffatrici, sabbiatrici di getti, ecc.)	15÷20
Scorie di alto forno	15÷20
Piombo	20÷25
Cereali	15÷17
Cuoio	15÷20
Gomma	10÷12
Granito	15÷20
Carbone	18÷20
Marmo	6÷10

Nota la portata d'aria V , il calcolo della rete di condotte comprese tra le cappe ed il separatore viene effettuato tenendo presente che la velocità dell'aria deve essere sempre maggiore od al minimo uguale al valore limite v_a necessario al trascinamento delle pol-

veri captate. I valori di v_a si possono reperire ad esempio in tab. 3.XXIV, in funzione del tipo di polvere da trattare.

Le perdite distribuite e localizzate nelle condotte possono essere calcolate con buona approssimazione anche senza mettere in conto la presenza delle polveri e le variazioni di densità. Comunque, ad esse vanno aggiunte le perdite localizzate di imbocco e quella dovuta al separatore, la quale può essere di notevole entità. In particolare, la perdita localizzata di imbocco dipende fortemente dalla forma della cappa. Ciò si può vedere in fig. 3.56, dove vengono riportati i valori del coefficiente ξ per vari tipi di cappe. Così, per determinare l'energia cinetica da assegnare all'aria, e la conseguente depressione si fa riferimento alla:

$$h = (1 + \xi) \cdot \frac{\rho \cdot v_a^2}{2} \cdot 10 \text{ [Pa]} \quad (3.26)$$

Ovviamente, l'aria sottratta all'ambiente dall'impianto di captazione delle polveri deve essere reintegrata, innanzitutto in vicinanza della zona di estrazione per evitare la formazione di correnti, anche tenendo conto delle perdite di carico da vincere per effettuarne lo spostamento.

Tipo di cappa	ξ	Tipo di cappa	ξ	Tipo di cappa	ξ
	0.93		2.08		0.49
	0.24		1.69		0.49
	0.45		2.08		0.6
	0.78		0.99		0.49
	0.49				

fig. 3.56. Coefficienti di perdita di carico localizzata di alcuni tipi di cappe.

Esempio

Si debbano dimensionare le condotte e scegliere il ventilatore per un impianto di captazione delle polveri a servizio di 2 macchine granigliatrici a buratto. Il percorso dei canali è quello di fig. 3.57, dove viene schematizzato l'impianto. Ciascuna macchina richiede $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$, come si è visto in tab. 3.XXIII. Il diametro delle condotte all'attacco della macchina è $\varnothing 0.5 \text{ m}$ (corrispondente ad una sezione $A_a = 0.196 \text{ m}^2$, il coefficiente di perdita di carico localizzata all'imbocco è $\xi = 1.38$ e la depressione richiesta all'imbocco è pari a 700 Pa .

Alla portata d'aria di $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$, la velocità nella condotta risulta essere:

$$v_a = \frac{V}{A_a} = \frac{4.3}{0.196} = 21.90 \text{ m/s}$$

la quale risulta compresa nei limiti di buon trasporto delle polveri di tab. 3.XXIV. Essa deve essere garantita anche nei tratti successivi della rete.

La perdita all'imbocco, data dalla (3.26) è pari ad $h_i = 700 \text{ Pa}$, come indicato in tab. 3.XXIII. Di seguito sono calcolate le altre perdite.

Tronco AB. Il tronco ha diametro 500 e lunghezza 14m, presentando 4 curve di coefficiente di perdita di carico localizzata $\xi = 0.2$. Le perdite di carico continue si ricavano dall'abaco di fig. 3.58. Con i dati scelti, la perdita di carico continua vale:

$$\Delta p_{cAB} = 11 \cdot 14 = 15.40 \cdot 10^{-4} \text{ bar} = 154 \text{ Pa}$$

e, per le perdite di carico localizzate nelle curve:

$$\Delta p_{aAB} = 4 \cdot \xi \cdot \rho \cdot \frac{v_a^2}{2} = 23.49 \cdot 10^{-4} \text{ bar} = 235 \text{ Pa}$$

In totale, il nodo **B** necessita di una depressione h_b pari a:

$$h_B = h_i + \Delta p_{cAB} + \Delta p_{aAB} = 109 \cdot 10^{-4} \text{ bar} = 1.090 \text{ Pa}$$

La condotta di aspirazione della seconda macchina possiede lo stesso diametro della prima, senza che ciò comporti sensibili squilibri nel nodo **B**. Perciò, rimane da calcolare il tronco BC, compreso tra il nodo **B** e lo scarico, a valle del ciclone.

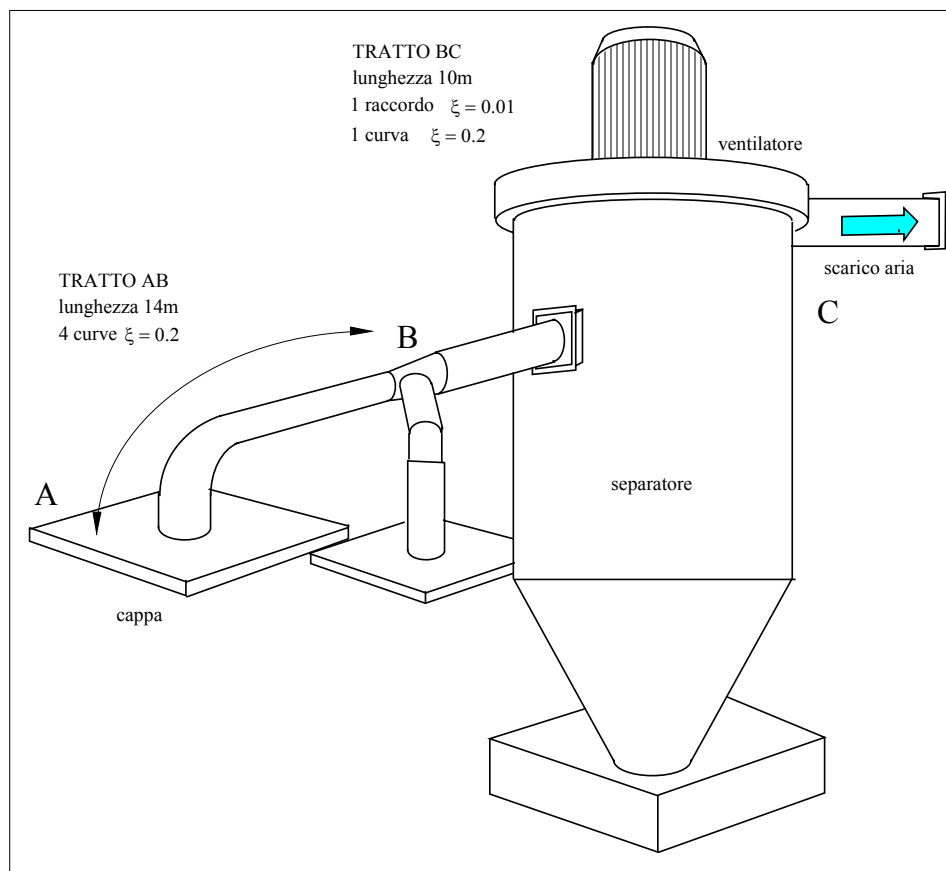


fig. 3.57. Schema dell'impianto di captazione di polveri dell'esempio.

Tronco BC. La portata di tale tronco risulta $V_{BC} = 2 \cdot 4.3 = 8.6 \text{ m}^3/\text{s}$, quindi, per garantire la velocità di trascinamento di 22m/s giudicata accettabile per il tronco **AB**, il diametro della condotta deve essere al massimo pari a quella che attraversa la sezione:

$$A = \frac{V}{v} = \frac{8.6}{22} = 0.391 \text{ m}^2$$

cioè essere Ø 700. Con tale diametro, la perdita di carico continua risulta:

3. SERVIZI AZIENDALI

$$\Delta p_{cBC} = 0.9 \cdot 10 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ bar} = 90 \text{ Pa}$$

Le perdite localizzate sono da calcolare per 1 curva ed il raccordo ridotto nel nodo **B**, per cui:

$$\Delta p_{aBC} = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v_a^2}{2} = (0.2 + 0.01) \cdot \rho \cdot \frac{22^2}{2} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ bar} = 60 \text{ Pa}$$

alle quali aggiungere le perdite di attraversamento del separatore, pari a 500Pa, per cui, in totale, per il tronco **BC** le perdite sono:

$$\Delta p_{BC} = \Delta p_{cBC} + \Delta p_{aBC} + 500 = 650 \text{ Pa}$$

Quindi, immediatamente a monte del ventilatore (valle separatore) è necessaria una depressione pari alla somma di questa perdita di carico e della depressione che deve essere garantita nel nodo **B**:

$$h_C = 1.090 + 650 = 1.740 \text{ Pa}$$

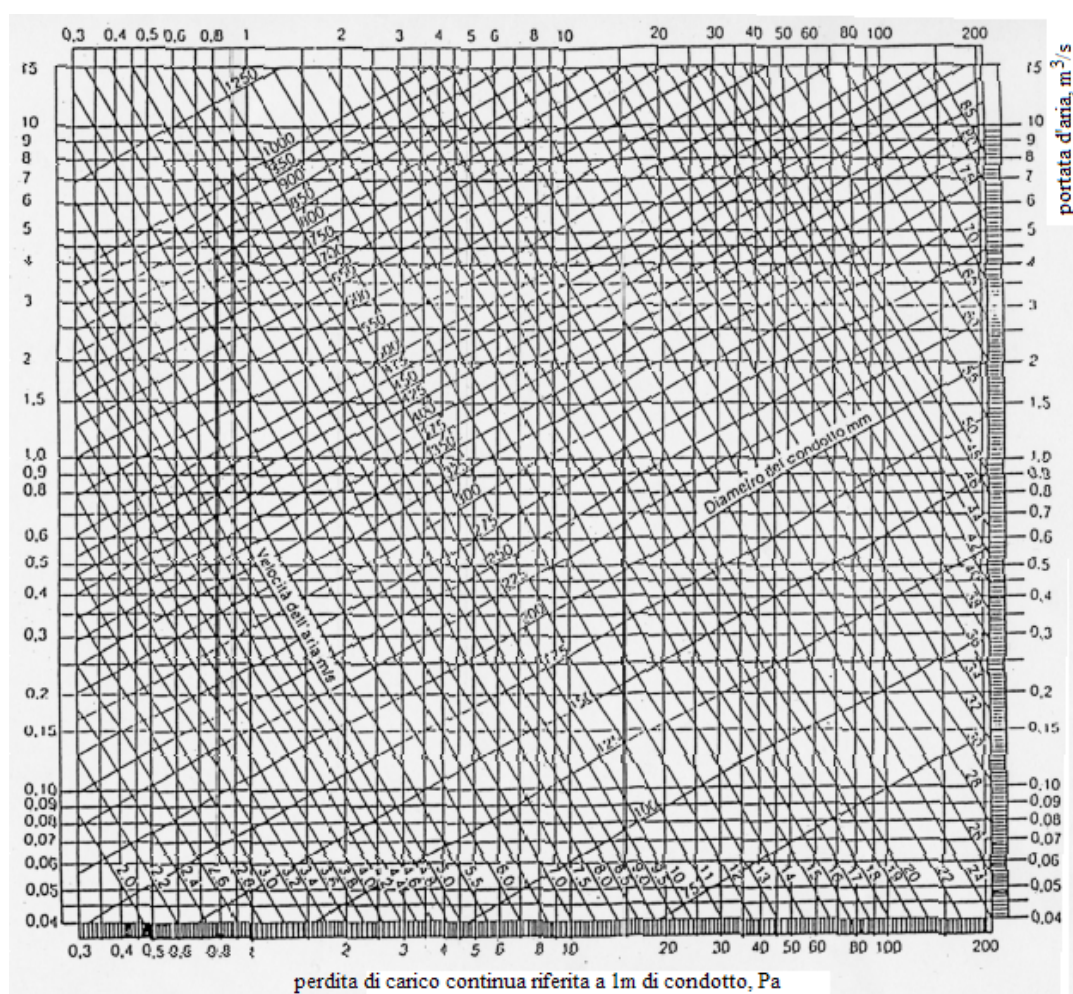


fig. 3.58. Abaco delle perdite di carico distribuite per le tubazioni di captazione delle polveri.

In ultima analisi, il ventilatore deve garantire la portata d'aria di $8.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ed una prevalenza statica $h = 1.740 \text{ Pa}$. Dai cataloghi dei costruttori, si rileva che la scelta più opportuna sarà per una macchina radiale con pale rivolte indietro, a semplice aspirazione, mosso da un motore da 22 kW alla velocità di rotazione di 4.500 g/min , con un rendimento di circa 0.77 ed una potenza sonora di **oltre** 113 dB .

3.5. PROTEZIONE E PREVENZIONE ANTINCENDIO

Nella fase di indagine sulle modalità di accadimento degli incidenti, si possono riconoscere temi ricorrenti che rivelano molto circa il crearsi di tali eventi⁵:

- molto frequentemente la causa dell'incidente non è riconducibile ad uno scenario semplice: spesso l'incidente nasce da una particolare combinazione di circostanze;
- spesso l'incidente è stato preceduto da altri incidenti minori, che sono stati quasi del tutto ignorati;
- quando un evento critico si verifica, si ha una grande variabilità delle conseguenze: in un caso si possono riscontrare leggeri danni e nessuna vittima, in un altro simile per molti aspetti si verificano circostanze chiave che inducono grandi perdite umane e materiali.

Sono le circostanze in cui la maggior parte gli incidenti si verificano, a determinare la gravità delle conseguenze. Perciò, è utile creare un modello del processo di sviluppo dell'incidente per comprendere più chiaramente i fattori che contribuiscono alla sua origine ed individuare gli accorgimenti necessari per evitarlo.

Il rischio **H** di un evento è il frutto di una valutazione di frequenza e magnitudo: il rischio generato dall'evento è definito dal prodotto delle due variabili **F** e **D**:

$$H = F \cdot D \quad (3.27)$$

dove **F** è la probabilità di accadimento dell'evento dannoso e **D** il danno provocato. Le curve di **iso-rischio** sono sub-iperboli, come rappresentato in fig. 3.59.⁶

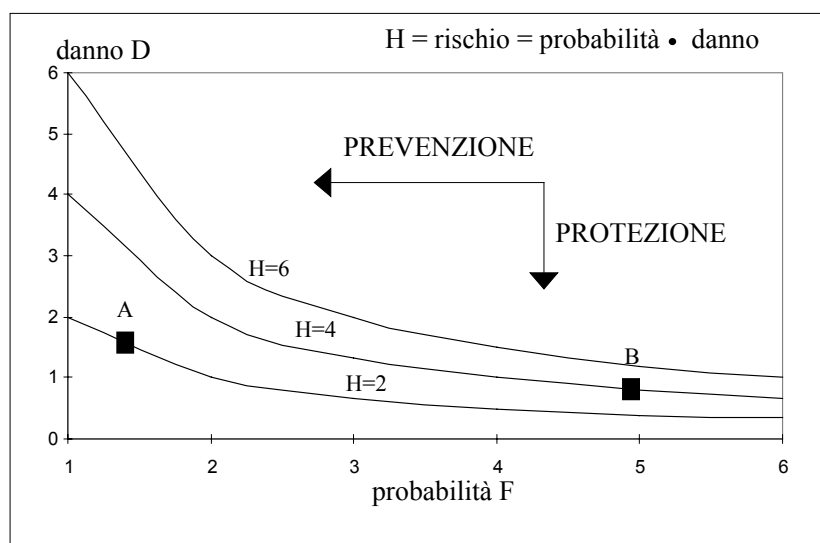


fig. 3.59. Sub-iperboli di rischio.

Si definisce innanzitutto come **probabilità F di accadimento dell'evento A**, la possibilità che il detto evento si verifichi **F** volte, dati **N** casi in cui l'evento potrebbe ugualmente accadere, nelle stesse condizioni:

⁵ Lees, Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control, ed. Butterworths, London, 1986.

⁶ L. Ciarambino, M. Scarrone, N. Piccinini, Analisi di operabilità finalizzata allo sviluppo di alberi logici, Atti III Conv. ATIG, Genova, 1990.

$$F(A) = \frac{\text{n}^\circ \text{ di eventi } A \text{ accaduti}}{\text{n}^\circ \text{ totale } N \text{ di eventi } A \text{ possibili}}$$

dove, ovviamente, $0 \leq F \leq 1$

Supponendo di dover valutare il rischio di due operazioni, ad esempio il trasporto su strada ed il trasporto aereo, il primo relativo a frequenti incidenti con modeste perdite di vite umane, il secondo invece collegato a rari incidenti con perdite umane ingenti, si nota come la sensibilità della persona media e mediamente informata sia più toccata dai pochi incidenti aerei di maggiore rilevanza, rappresentati globalmente da punti a sinistra di fig. 3.59, rispetto alla continua strage provocata dagli incidenti stradali, rappresentata dai punti a destra del grafico stesso. Invece, la valutazione del rischio legato ai due sistemi di trasporto deve essere effettuata calcolando il prodotto di frequenza e magnitudo, così dimostrando che il trasporto aereo (in termini di vittime/km) è ben più sicuro dell'automobile.

Come si è visto in fig. 3.59, avvicinandoci polarmente all'origine, diminuirà il prodotto $F \cdot D$ e quindi il rischio H . Quindi, compito del progettista è agire per diminuire la probabilità di accadimento dell'evento pericoloso, attuando in tal modo una misura di **prevenzione** e di diminuire le conseguenze dell'evento, mediante un'opera di **protezione**.

L'installazione di speciali apparecchiature, o l'attuazione di procedure opportune, possono abbassare la probabilità di accadimento ed i danni subiti. Così, nel caso del trasporto su strada, il rispetto delle distanze di sicurezza (opera di *prevenzione*), sposta il punto indicativo orizzontalmente verso sinistra, consentendo di abbassare la probabilità di accadimento dell'evento; invece, allacciare le cinture di sicurezza (opera di *protezione*), riduce i danni provocati dall'impatto e sposta il punto verticalmente verso il basso.

I passi principali della stesura di un piano di analisi e prevenzione dei rischi di ogni sistema sono:

- analisi degli eventi pericolosi che possono intervenire durante il funzionamento del sistema,
- individuazione dei componenti che devono essere tenuti sotto sorveglianza speciale, per evitare l'insorgere di situazioni di rischio,
- introduzione delle modifiche necessarie per eliminare le eventuali carenze evidenziate dal piano.

Questa metodologia ha determinato sia un notevole miglioramento della qualità dei progetti, sia una sensibile riduzione degli imprevisti che accompagnano l'avviamento e la normale gestione dell'impianto.

La rottura di un componente meccanico, o l'accadimento di un evento inatteso, ad esempio la mancata accensione di un segnale di allarme di poco costo, può generare problemi di grande portata, i quali, perciò, devono essere previsti. Come sappiamo, ogni disfunzione è intimamente legata all'**affidabilità dell'articolo**, la quale a sua volta è definita come la **probabilità che un articolo compia l'operazione richiesta nelle condizioni di impiego e per un determinato periodo di tempo**. La definizione mette in rilievo i noti aspetti dell'affidabilità:

- è una probabilità,
- è una funzione del tempo,
- è funzione della definizione di fallimento.

Alcune definizioni di fallimento sono:

- fallimento dell'operazione richiesta (l'operazione non viene portata a conclusione, oppure ha un esito diverso da quanto previsto),
- mancato intervento alla richiesta,
- operazione eseguita fuori richiesta,
- operazione continuata dopo la richiesta di arresto, applicabile ad un articolo che operi comunque ed ininterrottamente.

Spesso l'articolo che è origine della disfunzione crea problemi a catena, fino all'evento disastroso, che in letteratura si chiama **Top-Event** e del quale si calcola lo sviluppo utilizzando i seguenti modelli:

- modello di Houston,
- Hazop,
- Albero dei Guasti, con analisi quantitativa ai Minimal-Cut-Set.

L'analisi dei rischi è la parte di studio dell'impianto che, a partire dalla funzione e dal funzionamento degli articoli elementari - costituiti dalle singole apparecchiature che costituiscono l'impianto, e le linee di trasferimento (di liquidi, solidi, gas, segnali, ecc.) che alle apparecchiature fanno capo - tende a costruire un modello di sviluppo dell'incidente temuto, preventivamente definito ed indicato come Top Event. Lo studio considera in sequenza le linee significative (cioè quelle che si distinguono per le modifiche eventualmente introdotte, per la rilevanza sulla stabilità del processo, per la presenza di sostanze pericolose, ecc.), per ognuna delle quali è necessario compiere precise azioni, la prima delle quali è costituita dall'esatta definizione della funzione che deve essere assolta.

3.5.1. Il Modello dell'Incidente di Houston.

Un modello dello sviluppo dell'incidente è stato proposto da Houston nel 1971⁷ superando quello sviluppato dalla legislazione e dalle Assicurazioni, che focalizzava l'attenzione sulle *cause prossime* e discendeva dalla considerazione che molti fattori contribuiscono ad un incidente, ma, ai fini pratici e (principalmente) legali, si può quasi sempre individuare una causa principale. Un tale approccio aveva un certo numero di difetti:

- non forniva un criterio oggettivo per individuare la causa principale,
- la relazione tra le cause non era spiegata,
- non c'è modo di capire se la lista delle cause è completa.

Quindi permaneva la necessità di trovare un modello che mostrasse con maggiore chiarezza il processo di sviluppo comune agli incidenti. Houston propone un modello, secondo lo schema di fig. 3.60. In esso si riconoscono tre fattori di ingresso necessari al crearsi di un incidente:

- l'obiettivo (il target), sul quale si osservano i danni procurati,
- l'energia disponibile,
- l'innescò.

Sia l'energia, sia l'innescò presentano una soglia di intensità θ e θ' , al di sotto della quale la forza motrice non ha effetto. Poi, il verificarsi dell'incidente dipende da un certo numero di parametri, quali:

- la probabilità di contatto **p**, che è la probabilità con la quale tutti i fattori di input sono contemporaneamente presenti,

⁷ D.E.L. Houston, New Approaches to the Safety Problem, Major Loss Prevention, 1971

3. SERVIZI AZIENDALI

- l'efficienza del contatto ϵ , che definisce la frazione di energia che effettivamente raggiunge il target,
- l'efficacia del contatto η , che è il rapporto tra i danni causati sul target nelle condizioni reali ed i danni che sarebbero causati in condizioni standard,
- il tempo di contatto t , quale durata del processo di sviluppo dell'incidente.

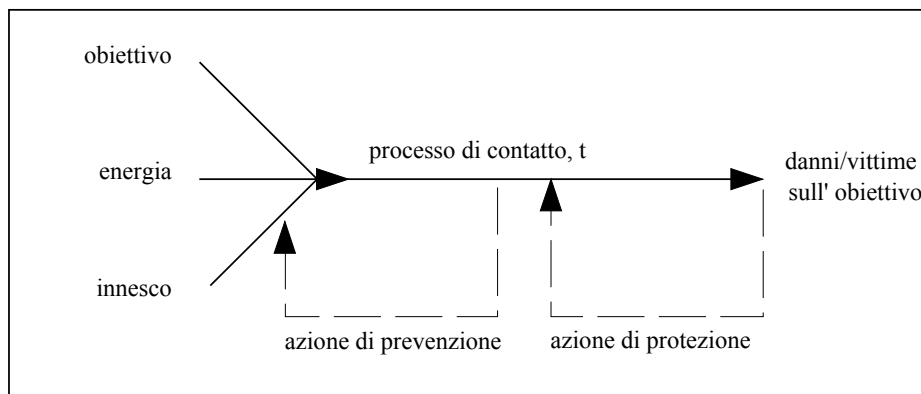


fig. 3.60. Il processo di sviluppo dell'incidente, secondo Houston.

Questo modello indica un certo numero di strade, percorrendo le quali la probabilità di accadimento e la gravità dell'incidente possono essere ridotte. Ad esempio si può perseguire la rimozione di uno o più dei fattori di input. Oppure, la probabilità del contatto può essere minimizzata con azioni di prevenzione. Poi, l'efficienza e l'efficacia del contatto possono essere ridotte con un'azione di protezione. Infine, il modello permette l'applicazione della **massima attenzione all'interazione con l'ambiente esterno**.

Fondamentalmente, il modello di Houston riguarda gli **incendi**, le **esplosioni** ed il **rilascio in ambiente di sostanze tossiche**. Dal punto di vista statistico, il problema degli incendi riguarda particolarmente la popolazione civile ed è particolarmente grave quando essa è fortemente concentrata, come si verifica spesso in luoghi pubblici, come le sale di teatro, alberghi, ecc. Il problema delle esplosioni si incontra più facilmente in relazione al deposito e durante il trasporto di materiali combustibili, mentre quello dei rilasci di sostanze tossiche si presenta con maggiore frequenza durante i processi industriali.

Dei tre tipi di incidenti, l'incendio è il più comune, ma l'esplosione determina il maggior numero di vittime e di danni nell'immediato. Tuttavia, il rilascio di sostanze tossiche presenta la massima potenzialità in termini di danni alle persone, agli animali ed all'ambiente nel medio e lungo termine.

Quindi, il problema di evitare i grandi rischi è essenzialmente quello di evitare il rilascio di sostanze pericolose. Questo non significa solamente che devono essere presi tutti gli accorgimenti per evitare le fughe di materiali dalle tenute, ma anche evitare che essi possano esplodere all'interno dei tubi e dei serbatoi dell'impianto, od in conseguenza di loro fughe all'esterno.

3.5.2. Il Controllo della Sicurezza

Nella trattazione dei problemi connessi alla sicurezza contro gli incidenti, si fa sempre riferimento al lavoro di un team, piuttosto che al singolo progettista, perché lo stu-

dio di tali problemi è una procedura tipicamente interdisciplinare, che coinvolge competenze e professionalità molto diverse. Ne risulta che si deve far riferimento alle regole di compilazione del diagramma causa-effetto di Ishikawa, le quali impongono il controllo di numerosi i fattori che condizionano la buona riuscita dello studio e fra essi sono particolarmente importanti:

- l'accuratezza di disegni, schemi e dati cui si fa riferimento,
- la composizione del team:
 - la preparazione tecnica e l'autorevolezza del **team leader**,
 - la disponibilità e competenza dei componenti il gruppo di lavoro,
 - la capacità dei singoli di rimanere realisti ed affrontare problemi effettivi.

Allora, agendo in sintonia con il committente, il team leader deve:

definire gli obiettivi. Lo studio può essere condotto con finalità varie, la cui individuazione dipende dal momento in cui lo studio dell'affidabilità viene eseguito. Dunque, ad esempio in fase di progettazione, l'obiettivo può essere quello:

- di accertare l'assenza di circostanze tali da sconsigliare il proseguimento del progetto,
- di verificare la coerenza col progetto dell'impianto,
- di definire e raccogliere gli indici di affidabilità dei componenti,
- di controllare la correttezza delle sequenze di avviamento e di arresto dell'impianto,
- di redigere l'elenco dei punti per i quali è necessario un ulteriore approfondimento,
- di provare la validità delle procedure di emergenza, ecc;

selezionare il team. Si tratta di individuare e coinvolgere le professionalità che sono in qualche modo responsabili dell'implementazione del progetto e che possono, perciò, contribuire a chiarirne gli aspetti più complessi. È bene che il numero dei componenti il team sia compreso tra 3 e 5 specialisti, per evitare che la presenza di troppe *teste* renda i lavori confusi. Tipicamente è necessario che nel gruppo siano presenti:

- il team leader,
- il progettista meccanico,
- lo specialista elettrotecnico ed elettronico,
- il futuro gestore dell'impianto,
- altre competenze che possono essere coinvolte saltuariamente, solo se una particolare fase del lavoro dovesse richiederlo;

preparare gli incontri. Forse è l'attività più oscura, ma anche la più onerosa e preziosa. Infatti, si tratta di scegliere ed organizzare in modo sistematico tutte le informazioni necessarie ad avere una fotografia di ciò che ci si appresta a studiare, verificandone la corrispondenza tra la documentazione disponibile e la reale configurazione dell'impianto. La raccolta delle informazioni riesaminate e corrette deve essere distribuita ai membri del team con un certo anticipo rispetto agli incontri, per conseguire una preventiva analisi ed assimilazione delle caratteristiche dell'impianto nella configurazione finale;

gestire gli incontri durante l'esecuzione dello studio. Durante questa fase, l'impegno maggiore del team leader è costituito dal controllo dei rapporti che spontaneamente si instaurano all'interno del gruppo. Dunque, al team leader compete la gestione del tempo, il controllo degli interventi, l'interruzione delle discussioni inutili, il richiamo al nocciolo delle questioni, la sintesi delle conclusioni, il chiarimento delle azioni evidenziate dallo studio, la ricerca del coinvolgimento attivo di tutti i partecipanti, ecc;

verificare il completamento delle azioni previste. Lo studio porta spesso alla ribalta questioni per le quali non sono disponibili risposte immediate, e diventa necessario approfondire i problemi, ricercare le soluzioni realizzabili, stabilire le scadenze entro le quali si ritiene che le azioni previste possano essere concluse, e verificare la coerenza del lavoro svolto con quanto stabilito. L'entità degli interventi potrebbe essere tale da rendere necessaria la ripetizione dello studio, con riferimento alla configurazione impiantistica modificata;

raccogliere i documenti utilizzati. Per ogni impianto studiato secondo quanto indicato dalla metodologia descritta, è conveniente allestire un database, nel quale raccogliere tutti i documenti ed i dati utilizzati durante l'esecuzione dell'analisi. In questo modo, risulta più facile ed immediato risalire alle motivazioni che hanno determinato le scelte tecniche, e meno laboriosa la ricerca delle informazioni relative al funzionamento dell'impianto.

3.5.2.1. Le Principali Cause di Incendio negli Ambienti di Lavoro

Dopo aver esaminato in generale l'analisi del rischio, con particolare riferimento agli effetti che esso provoca sull'uomo ed, in generale, sull'ecosistema, soffermeremo la nostra attenzione sui mezzi e sistemi per ridurre il rischio di incendio. Infatti, la sicurezza antincendio è orientata alla salvaguardia dell'incolumità delle persone ed alla tutela dei beni e dell'ambiente, mediante il conseguimento dei seguenti obiettivi primari:⁸

- a) la riduzione al minimo delle occasioni di incendio,
- b) la stabilità delle strutture portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso agli occupanti,
- c) la limitata produzione di fuoco e fumi all'interno delle opere e la limitata propagazione del fuoco alle opere vicine,
- d) la possibilità che gli occupanti lascino l'opera indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo,
- e) la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Come detto, il rischio di ogni evento incidentale (l'incendio nel nostro caso) risulta definito dal prodotto dei due fattori noti, la *frequenza*, cioè la probabilità che l'evento si verifichi in un determinato intervallo di tempo, e la *magnitudo*, cioè l'entità delle possibili perdite e dei danni conseguenti al verificarsi dell'evento. Dalla definizione appare evidente che quanto più si riducono la frequenza o la magnitudo, o entrambe, tanto più si ridurrà il rischio.

Con riferimento alla fig. 3.59 ed alla fig. 3.60, è stata graficamente rappresentata la possibilità di controllare e gestire un rischio di incendio, altrimenti inaccettabile, attraverso l'adozione di misure di tipo Preventivo o di tipo Protettivo. A questo scopo, l'attuazione di tutte le misure per ridurre il rischio mediante la *riduzione della sola frequenza* è detta **prevenzione**, mentre l'attuazione di tutte le misure tese alla *riduzione della sola magnitudo* è detta **protezione**.

Nel campo della protezione dagli incendi, è poi necessario precisare che il termine *prevenzione* riveste un significato più generale e comprende sia la prevenzione propriamente detta, sia la *protezione attiva*. In particolare, la protezione attiva studia ed attua i metodi rivolti ad impedire la propagazione ed ottenere lo spegnimento degli incendi.

⁸ Comando Provinciale VV.F. Padova, http://www.provincia.padova.it/vvf/626_dispense_corsi.htm

Inoltre, le misure di Protezione Antincendio possono essere di tipo **attivo** o **passivo**, a seconda che richiedano o meno l'intervento di un operatore o di un impianto per essere attivate. Ovviamente, le azioni Preventive e Protettive non devono essere considerate alternative, ma complementari tra loro, nel senso che, concorrendo esse al medesimo fine, devono essere intraprese entrambe proprio al fine di ottenere risultati ottimali.

In questa sede interessa evidenziare anche che gli obiettivi della Prevenzione Incendi devono essere ricercati anche con Misure di Esercizio. Infatti, anche il miglior progetto di sicurezza può essere vanificato da chi lavora nell'ambiente, se non vengono applicate e tenute nella giusta considerazione le misure precauzionali d'esercizio. Tali misure, comunque riconducibili ad uno schema di azioni Preventive o Protettive, sono state separate in fig. 3.61, proprio allo scopo di farne comprendere la rilevanza ai fini della sicurezza.

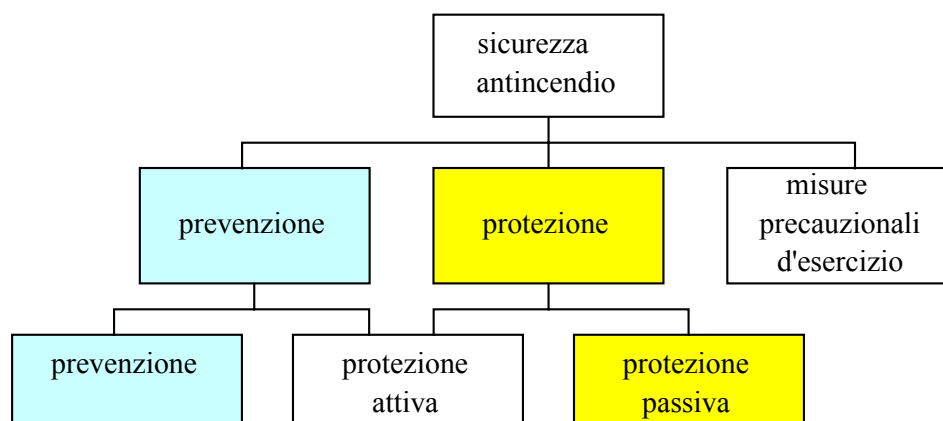


fig. 3.61. Azioni rivolte alla sicurezza antincendio

3.5.2.2. La Prevenzione

Come tutti i problemi di ingegneria, anche quello della sicurezza verso gli incendi dovrebbe essere sottoposto ad un'analisi costi-benefici, valutando da un lato in termini monetari i costi delle perdite imputabili a probabili incendi e, dall'altro, quelli dovuti alla protezione attiva. È facile intuire come i danni imputabili ai potenziali incendi diminuiscano al crescere degli investimenti in protezione attiva. Infatti, in fig. 3.62 la curva **D** mostra la diminuzione dei costi dei danni, all'aumentare con la retta **C** dei costi di protezione, tuttavia, oltre un certo punto, l'aumento dell'investimento in protezione non viene più compensato da una corrispondente diminuzione dei danni probabili.

Qualora si sommino i costi dei danni presunti con quelli della protezione, si ottiene la curva **S**, dalla quale si può dedurre il valore ottimale dell'investimento in prevenzione dagli incendi. Tuttavia, come si può ben capire, l'analisi costi-benefici risulta di difficile applicazione pratica al campo degli incendi, a causa dell'incertezza (sottolineata dalle considerazioni di Houston) relativa ai dati disponibili. Inoltre, nei costi di perdita da incendio dovrebbero essere compresi anche quelli di natura biologica provocati alle persone, ma, per motivi di ordine etico, non ci piace esprimere in termini monetari il valore della vita umana, peraltro definito cinicamente e regolarmente dalle Compagnie di Assicurazione.

Ne consegue che gli interventi relativi alla prevenzione vengono determinati seguendo un'altra strada, cioè quella di attenersi alle regole di buona tecnica ed alla normativa in materia, anche se questa risulta, allo stato attuale, poco seguita.

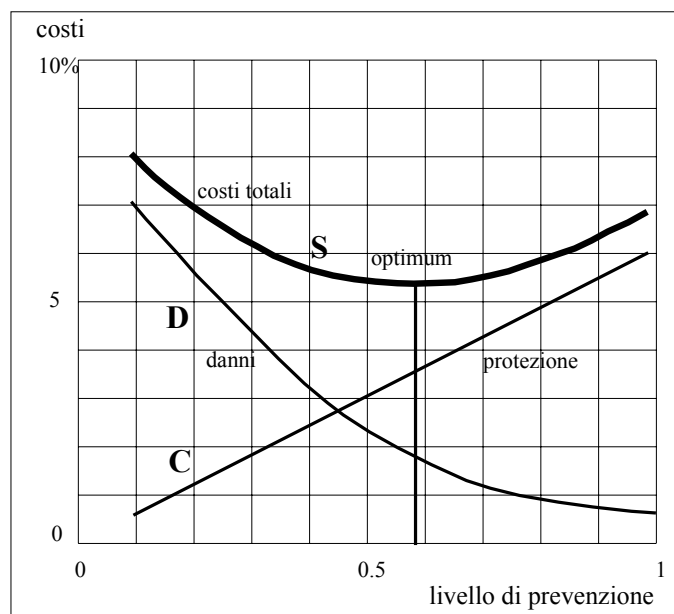


fig. 3.62. Ottimizzazione dei costi di prevenzione degli incendi.

Le principali misure di **prevenzione** degli incendi, finalizzate alla riduzione della loro probabilità di accadimento, possono essere individuate:

- nella realizzazione di *impianti elettrici* a regola d'arte, (Norme CEI),
- nel collegamento elettrico a *terra* di impianti, strutture, serbatoi etc.
- nell'installazione di impianti *parafulmine*,
- nell'adozione di dispositivi di sicurezza degli *impianti di distribuzione* e di utilizzazione delle sostanze infiammabili. Al fine di prevenire gli incendi, gli impianti di distribuzione di sostanze infiammabili vengono dotati di dispositivi di sicurezza di vario genere quali ad esempio termostati; pressostati; interruttori di massimo livello, termocoppie per il controllo di bruciatori, dispositivi di allarme, sistemi di saturazione e sistemi di inertizzazione, etc. Un esempio dell'applicazione del sistema di saturazione è quello presente nei serbatoi di benzina installati negli impianti stradali di distribuzione, nei quali l'aria che entra al momento dell'erogazione viene introdotta dal fondo del serbatoio e fatta gorgogliare attraverso il liquido, così da saturarsi di vapori di benzina. Il sistema di inertizzazione consiste, invece, nell'introdurre al di sopra del pelo libero del liquido infiammabile, anziché aria, un gas inerte (ad es. N_2), così da impedire del tutto la formazione di miscele infiammabili vapori-aria,
- nella *ventilazione* dei locali. Vista sotto l'aspetto preventivo, la ventilazione naturale o artificiale di un ambiente, dove possono accumularsi gas o vapori infiammabili, evita che in tale ambiente possano verificarsi concentrazioni al di sopra del limite inferiore del campo di infiammabilità. Naturalmente nel dimensionare e posizionare le aperture o gli impianti di ventilazione è necessario tenere conto sia della quantità, sia della densità dei gas o vapori infiammabili che possono essere presenti,
- nell'utilizzazione di *materiali incombustibili*. Quanto più è ridotta la quantità di strutture o materiali combustibili presente in un ambiente, tanto minori sono le probabilità che possa verificarsi un incendio. Pertanto, potendo scegliere tra l'uso di diversi materiali, dovrà sicuramente essere data la preferenza a quelli che, pur

garantendo analoghi risultati dal punto di vista della funzionalità e del processo produttivo, presentino caratteristiche di incombustibilità,

- nell'adozione di pavimenti ed attrezzi *antiscintilla*. Tali provvedimenti risultano di indispensabile adozione qualora negli ambienti di lavoro venga prevista la presenza di gas, polveri o vapori infiammabili,
- nell'installazione di un'adeguata *segnaletica* di sicurezza, riferita in particolare ai rischi presenti nell'ambiente di lavoro.

L'obiettivo principale dell'adozione di **Misure Precauzionali di Esercizio** è quello di permettere, attraverso una corretta gestione, di non aumentare il livello di rischio, reso a sua volta accettabile attraverso misure di prevenzione e di protezione. Le misure precauzionali di esercizio si realizzano attraverso:

- l'analisi delle cause di incendio più comuni,
- l'informazione e Formazione antincendi,
- controlli degli ambienti di lavoro e delle attrezzature,
- la manutenzione ordinaria e straordinaria.

Infatti, molti incendi possono essere prevenuti semplicemente richiamando l'attenzione del personale sulle cause e sui pericoli di incendio più comuni. Le rilevazioni statistiche dell'*Associazione Nazionale Imprese Assicuratrici* ricavate da un campione forniscono i seguenti dati sugli incendi verificatisi nelle attività industriali.

Periodo	Incendi	Danni (10 ⁶ €)
Anno 1992	1.272	160
Decennio 1983-1992	13.470	1.150

Le cause ed i pericoli di incendio più comuni sono:

- deposito o manipolazione non idonea di sostanze infiammabili o combustibili;
- accumulo di rifiuti, carta od altro materiale combustibile, che può essere facilmente incendiato (accidentalmente o deliberatamente);
- negligenza nell'uso di fiamme libere e di apparecchi generatori di calore;
- inadeguata pulizia delle aree di lavoro e scarsa manutenzione delle apparecchiature;
- impianti elettrici od utilizzatori difettosi, sovraccaricati e non adeguatamente protetti;
- riparazioni o modifiche di impianti elettrici effettuate da persone non qualificate;
- apparecchiature elettriche lasciate sotto tensione anche quando inutilizzate;
- utilizzo non corretto di impianti di riscaldamento portatili;
- ostruzioni della ventilazione di apparecchi di riscaldamento, macchinari, apparecchiature elettriche e di ufficio;
- fumare in aree ove è proibito, o non usare il posacenere;
- negligenze di appaltatori o di addetti alla manutenzione;
- ecc.;

Da parte sua, il Personale deve adeguare i propri comportamenti ponendo particolare attenzione ai punti seguenti:

deposito ed utilizzo di materiali infiammabili e facilmente combustibili. Dove è possibile, occorre che il quantitativo di materiali infiammabili o facilmente combustibili depositati od utilizzati sia limitato a quello strettamente necessario per la normale conduzione dell'attività e tenuto lontano dalle vie di esodo. I quantitativi in eccedenza devono essere depositati in appositi locali od aree destinate unicamente a ta-

le scopo. Quando possibile, le sostanze infiammabili, dovrebbero essere sostituite con altre meno pericolose (per esempio, adesivi e vernici a base minerale dovrebbero essere sostituiti con altri a base acquosa). Il personale che manipola sostanze infiammabili o chimiche pericolose deve essere adeguatamente addestrato sulle circostanze che possono incrementare il rischio di incendio,

utilizzo di fonti di calore. Le cause più comuni di incendio al riguardo includono:

- a. detenere od utilizzare le bombole di gas utilizzate negli apparecchi di riscaldamento (anche vuote),
- b. depositare materiali combustibili sopra od in vicinanza degli apparecchi di riscaldamento;
- c. utilizzare apparecchi in ambienti non idonei (presenza di infiammabili, alto carico di incendio, ecc.),
- d. utilizzare apparecchi in mancanza di adeguata ventilazione degli ambienti (norme UNI-CIG).

I condotti di aspirazione di cucine, forni, seghe, molatrici, devono essere tenuti puliti con frequenza adeguata per evitare l'accumulo di grassi o polveri. Gli ambienti in cui sono previste lavorazioni con fiamme libere dovranno essere accuratamente controllati. I luoghi dove si effettuano lavori di saldatura o di taglio alla fiamma, devono essere tenuti liberi da materiali combustibili. Inoltre, è necessario tenere presente il rischio legato alle eventuali scintille,

impianti ed apparecchi elettrici. Il personale deve essere istruito sul corretto uso delle attrezzature e degli impianti elettrici, in modo da essere in grado di riconoscerne i difetti. Le prese multiple non devono essere sovraccaricate per evitare surriscaldamenti degli impianti. Nel caso debba provvedersi ad una alimentazione provvisoria di una apparecchiatura elettrica, il cavo elettrico deve avere la lunghezza strettamente necessaria e posizionato in modo da evitare possibili danneggiamenti. Le riparazioni elettriche devono essere effettuate da personale competente e qualificato. Tutti gli apparecchi di illuminazione producono calore e possono essere causa di incendio,

rifiuti e scarti combustibili. I rifiuti non debbono essere depositati, neanche in via temporanea, lungo le vie di esodo (corridoi, scale, disimpegni) o dove possono entrare in contatto con sorgenti di ignizione. L'accumulo di scarti di lavorazione deve essere evitato ed ogni scarto o rifiuto deve essere rimosso giornalmente e depositato in un'area idonea, fuori dell'edificio,

aree non frequentate. Le aree del luogo di lavoro che normalmente non sono frequentate da personale (scantinati, locali deposito) ed ogni area dove un incendio potrebbe svilupparsi senza preavviso, devono essere tenute libere da materiali combustibili non essenziali. Precauzioni devono essere adottate per proteggere tali aree contro l'accesso di persone non autorizzate,

rischi legati ad incendi dolosi. Scarse misure di sicurezza e mancanza di controlli possono consentire accessi non autorizzati nel luogo di lavoro, comprese le aree esterne, e ciò può costituire causa di incendi dolosi. Occorre pertanto prevedere adeguate misure di controllo sugli accessi ed assicurarsi che i materiali combustibili depositati all'esterno non mettano a rischio il luogo di lavoro.

3.5.2.3. Legislazione Antincendio di Riferimento

In Italia, i servizi di prevenzione e vigilanza antincendio sono affidati al Corpo dei Vigili del Fuoco. La normativa vigente è composta da Leggi e Regolamenti di attuazione e da Circolari emanate dal Ministero degli Interni, Direzione Generale della Protezione Civile e dei Servizi Antincendi.

Il Consiglio di Stato, con parere del 22/01/1979 ha precisato che il servizio di prevenzione incendi rientra nell'ambito dell'attività di Pubblica Sicurezza. Pertanto, i comandi dei VV.F. esercitano compiti di Polizia Amministrativa, consistenti anche nella prevenzione degli incendi, al fine della tutela della Pubblica Incolumità, nonché compiti di Polizia Giudiziaria, alle dirette dipendenze della Procura della Repubblica.

Il controllo dei VV.F. si attua secondo le seguenti modalità:

- in fase di costruzione dello stabilimento, il progetto deve essere preventivamente esaminato dai VV.F. per l'accertamento della rispondenza alle norme antincendio,
- ottenuto il parere favorevole, a realizzazione ultimata, i VV.F. eseguono una visita di controllo e, qualora essa dia risultato positivo, rilasciano il Certificato di Prevenzione Incendi (CPI),
- dopo un periodo fissato dalle norme, il CPI è soggetto a scadenza e deve essere rinnovato, previa ulteriore visita di controllo. Poiché in alcuni casi tale prassi è stata disattesa ed, inoltre, i VV.F. non sono in grado di effettuare tutte le visite previste, la legge 12/1984, n° 818 prevede la richiesta entro termini più volte prorogati del CPI da parte dei titolari delle attività soggette a controllo ed in assenza di ciò, stabilisce gravi sanzioni amministrative e penali. Inoltre, la legge prevede il rilascio di un nullaosta provvisorio avente gli stessi effetti del CPI, ma con validità massima di 3 anni. Tale nullaosta può essere rilasciato in base alla sola documentazione presentata, senza richiedere visite da parte dei VV.F. La documentazione da allegare deve provare l'ottemperanza alle direttive di prevenzione più urgenti ed essenziali del D.M. 8/03/1985.

Di seguito è riportata la documentazione vigente.

- D.M. 31 luglio 1934, sugli stabilimenti per la lavorazione, l'impiego e la vendita di oli minerali
- L. 27 dicembre 1940, affidamento ai VV.F. del servizio di prevenzione ed estinzione incendi
- D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547, con misure generiche su prevenzione ed estinzione degli incendi
- D.P.R. 19 marzo 1956, n. 302, sulla sicurezza nella produzione, conservazione e trasporto degli esplosivi
- C.M. n. 74 del 20 settembre 1956, sugli impianti e depositi di G.P.L.
- D.P.R. 26 maggio 1959, n. 689, sulle aziende soggette al preventivo esame e collaudo dei VV.F.
- C.M. n. 91 del 14 settembre 1961, "Norme per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile
- L. 13 maggio 1961, n. 469, e L. 26 luglio 1965, n. 966, regolamento del controllo e del rilascio del certificato di prevenzione incendi, documento che attesta la conformità alle norme e alle prescrizioni e stabilisce le attività soggette a controllo
- L. 13 luglio 1966, n. 615, L. 13 luglio 1966, n. 615, Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico
- D.P.R. 22 dicembre 1970, n. 1391, regolamento di esecuzione della 615 in riferimento agli impianti termici
- C.M. n. 119 del 14 novembre 1967, relativa alle autorimesse in deroga al D.M. 31 Luglio 1934
- C.M. n. 68 del 25 novembre 1969, impianti termici a gas di rete
- C.M. n. 73 del 29 luglio 1971, impianti termici ad olio combustibile e gasolio
- D.P.R. 524/82, segnaletica di sicurezza

3. SERVIZI AZIENDALI

- D.P.R. 29 luglio 1982, n. 577, Servizi di prevenzione incendi in materia di "rischi di incidenti rilevanti"
- D.M. 16 novembre 1983, Elenco delle attività soggette, nel campo dei rischi di incidenti rilevanti, all'esame degli ispettori regionali o interregionali del Corpo nazionale dei vigili del fuoco, ai sensi dell'art. 19 i dell'art. 19 del D.P.R. 29 luglio 1982, n. 577
- L. 10 dicembre 1984, n. 818, nulla osta provvisorio per le attività esistenti
- D.M. 2 agosto 1984, Norme e specificazioni per la formulazione del rapporto di sicurezza ai fini della prevenzione incendi nelle attività a rischio di incidenti rilevanti di cui al decreto ministeriale 16 novembre 1983
- D.M. 11 giugno 1986, modifiche al D.M. 2 agosto 1984
- D.M. 9 luglio 1988, modifiche al decreto 16 novembre 1983
- L. 5 marzo 1990, n. 46, "norme per la sicurezza degli impianti
- D.M. 17 dicembre 1991, modifiche al D.M. 16 novembre 1983
- D.M. 9 aprile 1994, regolamentazione tecnica di prevenzione incendi per la costruzione e l'esercizio delle attività ricettive turistico-alberghiere
- D.Lgs. 19 settembre 1994, n. 626
- Circolare 29/8/1995 del Ministero dell'Interno di chiarimento sugli adempimenti di prevenzione e protezione antincendi
- Decreto Ministeriale 10/3/1998 "criteri generali di sicurezza antincendio e per la dell'emergenza nei luoghi di lavoro
- la Legge 27/12/1940 n. 1570 istituisce il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco e assegna ad esso i compiti di prevenzione ed estinzione degli incendi
- le leggi n. 469 del 13/5/1961 e n. 966 del 26/7/1965 precisano modalità di controllo e di rilascio del certificato di prevenzione incendi che attesta la conformità alle norme e alle prescrizioni
- il D.P.R. n. 577 del 29/7/1982 regola il servizio

tab. 3.XXV. Estratto delle attività elencate nel D.M. 16/02/1982

8	Officine e laboratori con saldatura e taglio di metalli utilizzando gas combustibile e/o comburente, con oltre 5 addetti
21	Officine o laboratori per la verniciatura con vernici infiammabili e/o combustibili con oltre 5 addetti
58	Depositi di manufatti in plastica con oltre 5.000kg
72	Officine per la riparazione di autoveicoli con capienza > 9 autoveicoli Officine meccaniche per lavorazioni a freddo con oltre 25 addetti
86	Ospedali, case di cura e simili con oltre 25 posti letto
87	Locali adibiti ad esposizione e/o vendita all'ingrosso o al dettaglio con superficie lorda > 400m ² .
88	Locali adibiti a depositi di merci e materiali vari con superficie lorda > 1.000m ²
93	Tipografie, litografie, stampa in offset ed attività similari con oltre 5 addetti

3.5.3. Fondamenti della Chimica dell'Incendio

Il fuoco è una reazione chimica che comporta una serie di emissioni che possono essere tossiche ed a volte letali.⁹ La reazione avviene quando si combinano i seguenti componenti, che costituiscono il *triangolo del fuoco*:

- combustibile,
- comburente,
- temperatura di accensione (o innesco).

3.5.3.1. I Reagenti

Il **combustibile** è una qualsiasi sostanza capace di bruciare combinandosi con l'ossigeno dell'aria e di fornire energia termica. Si distinguono:

combustibili solidi naturali: legna, carboni fossili, lignite, litantrace e antracite,

combustibili solidi artificiali: coke, plastiche e carbone di legna,

combustibili liquidi naturali: petrolio e bitume,

combustibili liquidi artificiali: benzine e altri distillati dal petrolio e dal catrame, alcoli ecc,

combustibili gassosi naturali: gas naturali come il metano,

combustibili gassosi artificiali: gas illuminante, gas d'alto forno, gas d'acqua, acetilene ecc.

La combustione è tanto migliore quanto migliore è la miscela con l'aria: questo avviene meglio tra gas e vapori. Il **comburente** è sempre un **reagente gassoso** e normalmente è l'ossigeno dell'aria.

La **temperatura di accensione T_a** è la temperatura alla quale il combustibile si accende spontaneamente in aria. Al di sotto di tale temperatura, un combustibile non può accendersi, quindi è la temperatura necessaria a far bruciare una sostanza in aria senza aggiunta di calore (ad esempio per la benzina $T_a = 250^\circ\text{C}$, per il gasolio $T_a = 330^\circ\text{C}$).

Trattandosi di una reazione chimica, con la sottrazione di uno dei reagenti, il **fuoco** (cioè la combustione) viene bloccato. Poi, la temperatura di accensione è influenzata dalla composizione chimica del combustibile, e varia di conseguenza. Infine, la combustione è una reazione di che produce gas, luce, calore, braci e cenere.

Invece, la **temperatura di infiammabilità T_i** è definita come la minima temperatura alla quale i combustibili **liquidi** emettono vapori infiammabili (ad es. per la benzina $T_i = -21^\circ\text{C}$, per il gasolio $T_i = 55^\circ\text{C}$). L'intervallo $T_i \div T_a$ determina le condizioni minime alle quali una sostanza combustibile può accendersi.

La **pezzatura** è la dimensione delle particelle di combustibile **solido** ed è un elemento importante per l'accensione. Un ambiente saturo di combustibile molto parcellizzato presenta una **T_a** molto più bassa di quanto sia per combustibili aventi pezzature di grandi o medie dimensioni.

L'**umidità** è il contenuto di vapor d'acqua nell'ambiente. Essa determina un innalzamento della temperatura **T_a** . Ciò avviene perché un qualsiasi combustibile solido prima di accendersi necessita di essere deumidificato, per la quale operazione occorre fornire una certa quantità di energia.

⁹ R.De Paula, I.Tarantino, M.Tomas, *Cosa è il fuoco?* Protezione Civile Napoli

Come indicato in fig. 3.63, nell'evoluzione dell'incendio si possono individuare 4 fasi caratteristiche:

ignizione (accensione), la quale dipende da:

- l'infiammabilità del combustibile;
- la possibilità di propagazione della fiamma;
- il grado di partecipazione al fuoco del combustibile;
- la geometria ed il volume dell'ambiente;
- la possibilità di dissipazione del calore nel combustibile;
- la ventilazione dell'ambiente;
- le caratteristiche superficiali del combustibile;
- la distribuzione nel volume del combustibile, i punti di contatto, ecc.

propagazione, caratterizzata da:

- la produzione dei gas nocivi, tossici e corrosivi;
- la riduzione di visibilità a causa dei fumi di combustione;
- l'aumento della partecipazione alla combustione del combustibile;
- l'aumento rapido delle temperature;
- l'aumento dell'irraggiamento;

incendio generalizzato - dopo il flash over, individuato dal flesso della curva di fig. 3.63 - e caratterizzato da:

- un brusco ulteriore incremento della temperatura;
- la crescita esponenziale della velocità di combustione;
- un forte aumento di emissioni di gas e di particelle incandescenti, che si espandono e vengono trasportate in senso orizzontale, e soprattutto in senso ascensionale. Si formano zone di turbolenze visibili;
- l'autoaccensione dei combustibili vicini al focolaio, mentre quelli più lontani si riscaldano e raggiungono la loro temperatura di combustione, con ulteriore produzione di gas di distillazione infiammabili;

estinzione e raffreddamento. Quando l'incendio ha interessato tutto il materiale combustibile (oppure ha esaurito tutto il comburente), ha inizio la fase di diminuzione delle temperature all'interno del locale, grazie alla progressiva riduzione dell'apporto termico residuo, della dissipazione di calore attraverso i fumi e dei fenomeni di conduzione termica.

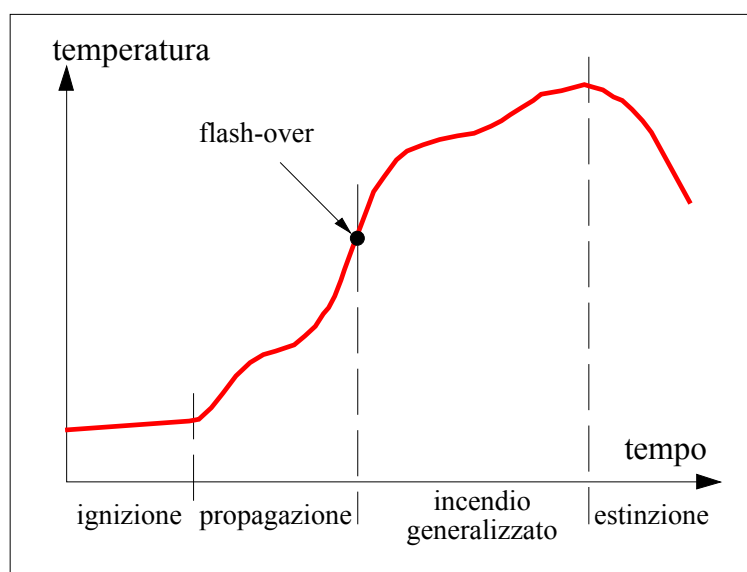


fig. 3.63. Fasi tipiche di evoluzione dell'incendio

3.5.3.2. Il Combustibile

Come detto, esistono *diversi tipi* di combustibili:

solidi, costituiti da legno, carbone fossile, carbone di legna, coke, agglomerati,
liquidi, derivati dalla raffinazione del petrolio greggio, ad esempio alcoli, benzine;
gassosi, naturali (metano, ecc.), od artificiali (gas illuminante, gas d'aria, gas d'acqua, gas d'altoforno, acetilene, idrogeno). I combustibili gassosi con peso molecolare maggiore sono forniti liquefatti e confezionati in bombole.

Per potersi accendere, le sostanze **solide** devono prima essere sottoposte a pirolisi, cioè il solido (che è un composto chimico di peso e complessità molecolare elevata), prima di accendersi deve essere ridotto in composti più semplici e di peso molecolare minore. Quindi, le sostanze solide possono bruciare per azione del calore, grazie al processo di pirolisi, mediante il quale i solidi emettono dei vapori infiammabili, i quali, a loro volta, si accendono.

L'energia necessaria per accendere un solido è maggiore che per gli altri tipi di combustibili, sia perché occorre una certa quantità di energia per effettuare la pirolisi, sia perché ne occorre un'ulteriore per eliminare l'umidità che generalmente vi è contenuta. L'unico solido che prende facilmente fuoco e non produce brace è la **canfora**, che emette vapori infiammabili già a temperatura ambiente.

Anche i **liquidi** bruciano solo se generano gas infiammabili, quindi a temperatura superiore a **Ti**. Perciò, i liquidi infiammabili si dividono in categorie in relazione alla propria temperatura di infiammabilità:

Categoria **A**, quando **Ti** < -21°C (ad esempio, la benzina),

Categoria **B**, quando **Ti** varia da -21°C a 65°C (ad esempio il gasolio),

Categoria **C**, quando **Ti** varia da 65°C a 125°C (ad esempio gli oli combustibili).

Il **campo di infiammabilità** è una caratteristica dei combustibili liquidi e gassosi. Ipotizziamo di versare alcuni litri benzina in una stanza o in contenitore chiuso. Avremo una parte della stanza in cui ci sono troppi vapori di benzina e troppo poca aria per accendersi, e quest'area è delimitata dal **limite superiore di infiammabilità** (LSI). Vi sarà poi una parte della stanza in cui c'è una miscela di aria e vapori di benzina in grado di accendersi. Infine, vi sarà una parte dove la percentuale di vapori infiammabili è troppo bassa rispetto a quella dell'aria e quest'area è delimitata dal **limite inferiore di infiammabilità** (LII).

Se potessimo prendere un innesco e metterlo direttamente all'interno delle aree LSI od LII, i vapori di benzina contenuti non possono accendersi. Se invece lo inseriamo all'interno dell'area delimitata da LSI ed LII ci si trova all'interno del campo di infiammabilità ed i vapori di benzina in esso contenuti si accenderanno. Il campo di infiammabilità è quindi anche quell'area entro la quale, se avviene un innesco, (ad esempio una scintilla) avremo un incendio, poiché la miscela di combustibile e comburente è in percentuale adeguata a sostenere la combustione.

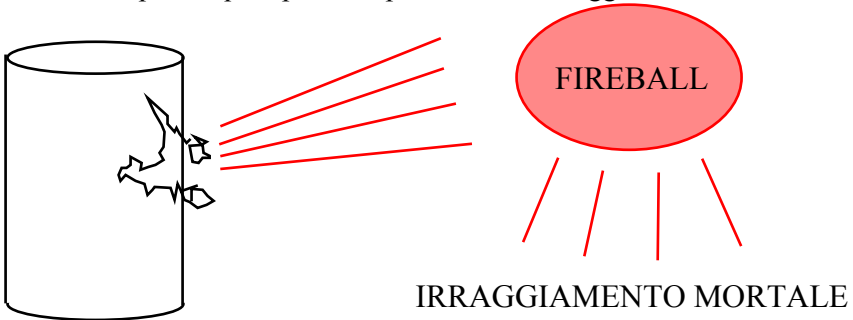
I combustibili **gassosi** si distinguono per la loro densità in:

- **leggeri**, quando la loro densità relativa a quella dell'aria è inferiore a 0,8 (ad esempio il metano ha una densità relativa all'aria pari a 0.554),
- **pesanti**, quando la loro densità relativa a quella dell'aria è superiore a 0,8 (ad esempio il butano ha una densità relativa all'aria pari a 2.066).

I gas pesanti rappresentano un rischio maggiore perché ristagnano nell'ambiente, mentre quelli leggeri si disperdono facilmente. Uno dei frequenti pericoli è la presenza di

GPL nelle fognature, dopo la dispersione dell'ambiente di questo gas pesante. Con densità relative all'aria comprese tra lo 0.8 e l'1.2 i gas ristagnano.

tab. 3.XXVI. Tipologie di incendi ed esplosioni da combustibili liquidi e gassosi.

Nome	Descrizione	Danni e conseguenze
BLEVE	Esplosione dei vapori generati dall'ebollizione di un liquido. Ciò si manifesta quando l'involucro ed il suo contenuto raggiungono temperature superiori a quelle necessarie per l'evaporazione dell'intera sostanza liquida. La rottura del contenitore determina la nuclearizzazione spontanea del liquido, ossia l'immediata evaporazione del prodotto.	Onda d'urto, proiezione di frammenti, possibile fire-ball.
FIREBALL	In seguito ad un bleve, se i vapori contenuti nel contenitore esploso sono infiammabili, si può avere l'accensione immediata e praticamente istantanea dei vapori, i quali possono provocare un irraggiamento mortale. 	irraggiamento
UVCE	esplosione di una nuvola di vapori non confinati	onda d'urto ed irraggiamento
CVE	esplosione in ambito confinato	onda d'urto
JET FIRE	il contenitore in pressione si buca e ne esce il combustibile a forma di getto.	irraggiamento
TANK FIRE	incendio di un contenitore	irraggiamento
POOL FIRE	incendio di una pozza di liquido infiammabile	irraggiamento

Come detto, i gas combustibili di peso molecolare maggiore vengono trasportati liquefatti in bombole o cisterne. La liquefazione del gas può avvenire o per aumento di pressione o per sottrazione di calore. A tale riguardo due sono i concetti importanti:

- la **pressione critica**, che è quella necessaria a liquefare un gas alla sua temperatura critica,
- la **temperatura critica**, che è quella al di sopra della quale non è possibile liquefare il gas per effetto della pressione.

Questi due concetti interessano perché, in caso di incendio in presenza di gas liquefatto contenuto in contenitori a pressione (bombole), se la temperatura sale al di sopra di quella critica, il gas non potrà restare allo stato liquido e quindi la bombola facilmente esploderà. Da questo punto di vista, anche l'acqua in un contenitore rappresenta un pericolo, perché, superato il punto di ebollizione mentre viene fornito ulteriore calore, i contenitori possono esplodere a causa della pressione interna. Questo tipo di esplosione si chiama **bleve**, ma esistono altri tipi di incendi, come descritto in tab. 3.XXVI.

Altre informazioni relative ai contenitori e sul pericolo cui possiamo andare incontro ci sono date dal colore dell'ogiva delle bombole in cui i gas sono trasportati. Tale colore è diverso, a seconda del gas contenuto, come indicato in fig. 3.64. Tra essi, l'**Acetilene** (bombola con ogiva arancione) è uno dei gas più pericolosi, in quanto composto instabi-

le, combustibile anche in assenza d'aria. È impiegato in saldatura, anche subacquea e, per ragioni di sicurezza, viene conservato disciolto in acetone. La normativa prescrive che la bombola di Acetilene debba essere legata con una catenella al muro oppure carrellata e legata al carrello con una catena, questo per evitarne la caduta. In tal caso l'Acetilene potrebbe sviluppare una *reazione esotermica* anche in assenza d'aria (con aumento della temperatura interna della soluzione nella bombola) e provocarne l'esplosione.

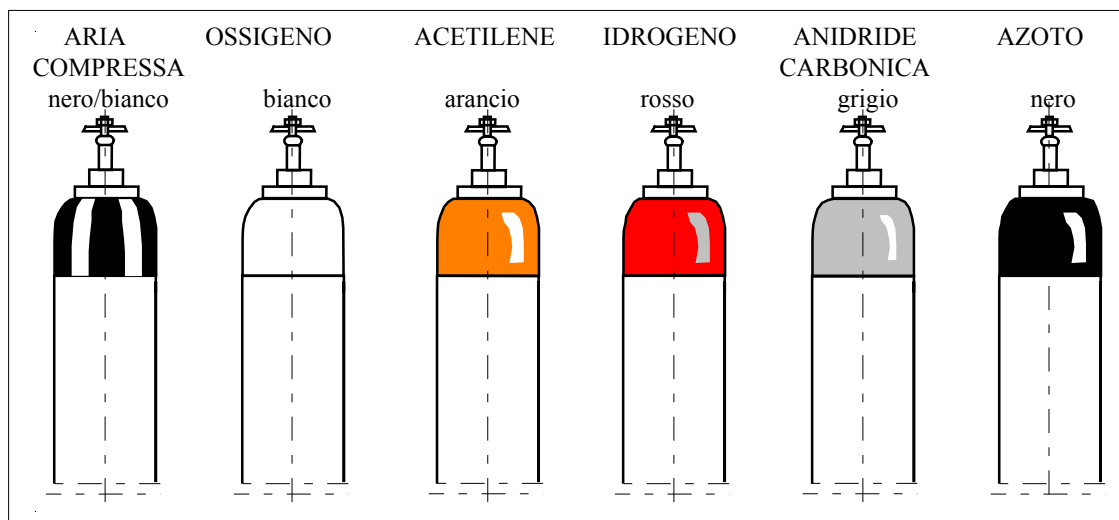


fig. 3.64. Colore identificativo delle ogive delle bombole di gas compressi.

3.5.3.3. I Prodotti della Combustione

La maggior parte delle morti in un incendio *non* sono causate dall'alta temperatura, bensì dai gas respirati:

Il **fumo**, meglio definibile come fumo visibile, è formato da particelle solide e liquide in sospensione in aria e prodotti della combustione ed è pericoloso essenzialmente perché riduce la visibilità, rendendo difficile la ricerca della via di fuga, d'altra parte esasperata dal panico che si manifesta in emergenza

I principali *gas nocivi* prodotti dalla combustione sono l'anidride carbonica CO_2 ed il monossido di carbonio CO .

La **CO_2** non è un gas tossico, ma, impoverendo l'ambiente di O_2 , produce sintomi di mancanza d'aria (l'aria contenuta in un ambiente è respirabile finché contiene almeno il **17%** di O_2). Mal di testa, sonnolenza o eccitazione, seguiti da un'*accelerazione del ritmo polmonare e cardiaco*, sono i sintomi di una turba respiratoria dovuta ad eccesso di CO_2 (ipossia) e da una scarsità di O_2 (ipercapnia). In entrambi i casi compare inizialmente *cianosi* delle unghie, dei lobi delle orecchie e delle labbra, cui fa seguito la perdita di coscienza e poi il coma. La presenza di *midriasi* (dilatazione della pupilla) testimonia una sofferenza cerebrale. La persona esposta deve essere immediatamente allontanata dal luogo insalubre e gli deve essere applicata la respirazione artificiale. L'ipossia e l'ipercapnia si equivalgono anche se la seconda evolve più lentamente della prima.

Invece, il **CO** è un gas tossico, in quanto produce avvelenamento del sangue. L'ossido di carbonio si sviluppa in incendi confinati in ambienti chiusi ed in carenza di ossigeno. Esso è incolore, inodore e non irritante. Negli incendi risulta il più pericoloso tra i tossici del sangue sia per l'elevato livello di attività, sia per i notevoli quantitativi

generalmente sviluppati. Il suo meccanismo d'azione consiste nell'assorbimento per via polmonare. Attraverso la parete alveolare passa nel sangue per combinazione con l'emoglobina dei globuli rossi formando la carbossi-emoglobina. Con tale azione si bloccano i legami che la stessa ha con l'Ossigeno, che, in condizioni normali forma l'ossi-emoglobina. La presenza di CO nell'aria determina un suo legame preferenziale con l'emoglobina, in quanto l'affinità di legame che intercorre tra essi è circa 220 volte superiore a quella tra l'emoglobina e l'ossigeno. La sintomatologia prevede cefalea, nausea, vomito, palpitazioni, astenia, tremori muscolari. Se si sommano gli effetti dell'ossido di carbonio sull'organismo umano con quelli conseguenti ad una situazione di stress, di panico e di condizioni termiche avverse, i massimi tempi di esposizione sopportabili dall'uomo in un incendio reale sono quelli indicati in tab. 3.XXVII.

In conclusione, la CO₂ è asfissiante e della sua presenza è possibile accorgersi per i sintomi relativi, mentre la presenza di CO è difficilmente rilevabile, ma è letale anche a basse concentrazioni (<1%).

tab. 3.XXVII. Tempo massimo di esposizione dell'uomo al CO

Concentrazione di CO		Tempo max di esposizione
ppm	%	sec
500	0.05	240
1000	0.1	120
2500	0.25	48
5000	0.5	24
10000	1	12

Quando in un locale chiuso vediamo una **fiamma bassa** o delle **braci**, le ipotesi sono due: *o è finito il combustibile*, per cui l'incendio è in via di estinzione, *o è finito il comburente*, quindi manca O₂ e la combustione sta producendo CO. È necessario ricordare che il CO è un gas infiammabile ed, a certe concentrazioni, può dare luogo a miscele esplosive.

La degradazione termica dei *materiali plastici* avviene già a temperature di poco superiori ai 100°C. Oltre a produrre gas tossici ed asfissianti particolarmente rischiosi, la combustione di tali materie dà luogo al fenomeno del gocciolamento, evento pericoloso poiché una goccia di plastica fusa può fungere da innesco di altri incendi ai piani o livelli inferiori. Oltre alla CO₂ ed il CO, i principali prodotti della loro combustione sono:

l'**Ammoniaca** NH₃, proveniente dall'ossidazione dell'Azoto ed è irritante per occhi e bocca, e l'**Idrossido di Azoto** che, in concentrazioni solamente dello 0,001%, provoca irritazioni alla gola ed agli occhi anche nel tempo,

i **Cianogeni**, cioè CN; CN₂, che sono gas incolori, estremamente velenosi, dall'odore di mandorla amara. Se respirati, provocano la morte per paralisi dei centri respiratori,

il **Cloro** Cl₂ è un non-metallo molto reattivo che si presenta sotto forma di gas di color giallo verdastro, di odore irritante e soffocante, molto diffuso in natura in composizione con altre sostanze, ed impiegato, oltre che per disinfettare le acque, per svariati usi industriali. L'**Acido Cloridrico** HCl è un idracido molto tossico. In soluzione è un acido fra i più forti ed attivi. L'acido cloridrico allo stato gassoso viene fatto assorbire in acqua e messo in commercio, sotto il nome di acido muriatico, alla percentuale del 37% circa. L'Acido Cloridrico si forma dall'ossidazione del Cloro ed è e-

stremamente corrosivo per i metalli, tanto che strutture in metallo, che sono state esposte ad un incendio da Cloro, possono crollare a distanza di mesi, perché il gas continua ad agire. È letale già per quantità pari allo 0,1%,

il **Fosgene** COCl_2 è un cloruro di carbonile molto tossico. Usato come aggressivo chimico e di sintesi di coloranti, farmaceutici, ecc, si forma per combustione di materie plastiche, è fortemente tossico, e rende necessario l'uso della maschera a gas. Il meccanismo d'azione sull'uomo si verifica a contatto con le secrezioni acquose, che ne provocano la scissione in CO_2 ed HCl . A sua volta, l' HCl è estremamente pericoloso, come detto sopra. La sintomatologia consiste nell'irritazione di occhi, naso, e gola, lacrimazione, secchezza della bocca, costrizione toracica, vomito e mal di testa,

l'**Acido Fluoridrico** H_2F , che proviene dall'ossidazione del Fluoro,

i **Vapori Nitrosi** NO_2 , sono vapori acidi la cui molecola è composta di un atomo di azoto e di due atomi di ossigeno, provenienti dalla combustione di composti azotati,

l'**Anidride Solforosa** SO_2 è un gas 2,26 volte più denso dell'aria, tossico per organismi animali e vegetali. Si ottiene industrialmente dalla combustione di zolfo o pirite in forni a più piani. Si usa nella produzione dell' H_2SO_4 , per sbiancare fibre tessili, cellulosa, per conservare vini, frutta, come fluido refrigerante ecc. L'Anidride Solforosa provoca danni agli occhi ed all'apparato respiratorio, già a concentrazioni dello 0,5÷1%. In carenza di O_2 , dalla combustione di sostanze che contengono Zolfo si produce **Idrogeno Solforato** H_2S . L'odore caratteristico è quello di uova marce, ed in concentrazioni dello 0,1% attacca già il sistema nervoso e blocca la respirazione,

l'**Acido Cianidrico** HCN è un liquido fortemente tossico, incolore, volatile, con forte odore di mandorle amare, ed è fatale già a piccole dosi e concentrazioni. Esso si sviluppa in modesta quantità in incendi ordinari attraverso la combustione incompleta (carenza di ossigeno) di lana, seta, resine acriliche, uretaniche e poliammidiche. Il meccanismo d'azione consiste nell'interrompere la catena respiratoria a livello cellulare generando grave sofferenza funzionale nei tessuti ad alto fabbisogno di ossigeno, quali il cuore e il sistema nervoso centrale. Le vie di penetrazione sono quella inalatoria, la cutanea e la digerente. I cianuri prodotti dall'acido cianidrico, a contatto con l'acidità gastrica presente nello stomaco, vengono idrolizzati, anche qui bloccando la respirazione cellulare con la conseguente morte della cellula per anossia. La sintomatologia presenta iperpnea (fame d'aria), aumento degli atti respiratori, colore della cute rosso, cefalea, ipersalivazione, bradicardia, ipertensione,

l'**Aldeide Acrilica** si forma dalla fermentazione degli escrementi animali,

il **Metano** CH_4 è il più semplice idrocarburo, gas che si svolge naturalmente dal fondo delle paludi e galleggia sul livello del greggio nelle formazioni petrolifere. Lo si produce industrialmente isolandolo dagli altri gas naturali con cui si trova miscelato in vasti giacimenti. Il metano puro è un gas incolore e inodore, non tossico, con peso specifico relativo all'aria di 0,554. È un'importante fonte di energia termica e trova impiego come materiale di base per molti prodotti chimici. A pressione atmosferica liquefa a $-161,5^\circ\text{C}$ e solidifica a $-182,5^\circ\text{C}$,

l'**Idrogeno** H_2 è il principale costituente dell'universo, ma sulla Terra non si trova allo stato libero se non in alcuni gas naturali. È un gas inodore, incolore, insapore, molto infiammabile, non tossico e poco solubile in acqua, molto diffusibile, anche attraverso ceramica non verniciata. È il gas più leggero che si conosca (14,44 volte più leggero dell'aria), che liquefa a $-252,7^\circ\text{C}$ alla pressione di 12,8bar. Si usa in molte applicazioni, ma i quantitativi maggiori sono assorbiti dalla sintesi dell'ammoniaca e

cazioni, ma i quantitativi maggiori sono assorbiti dalla sintesi dell'ammoniaca e dell'acido cloridrico, e nell'idrogenazione dei grassi.

Perciò, riveste notevole importanza conoscere quali sono i materiali presenti in un incendio al fine di utilizzare le precauzioni relative.

3.5.3.4. Segnaletica

In genere i combustibili **liquidi** e gli oli combustibili sono contenuti in fusti. Vicino a questi contenitori vengono utilizzati i cartelli segnaletici di fig. 3.65 e seguenti.

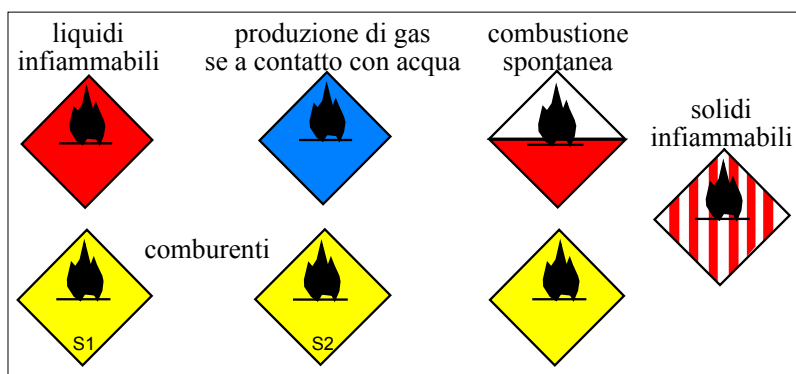


fig. 3.65. Segnalazioni delle tipologie di prodotto.

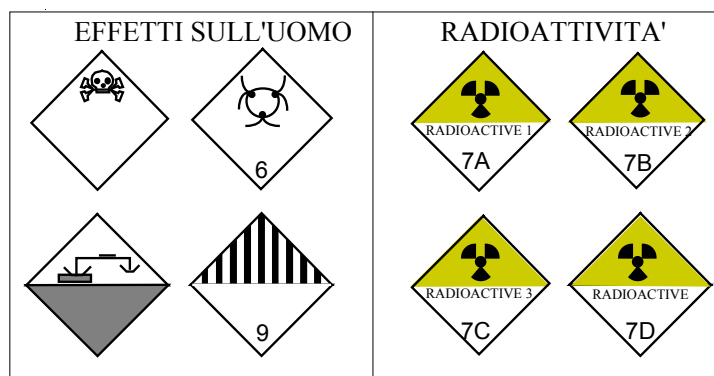
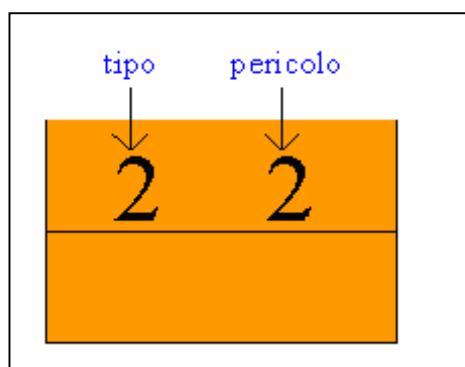


fig. 3.66. Segnalazioni di pericolo specifico



Sui trasporti di materiale infiammabile generalmente troviamo dei **pannelli di colore arancio**. In **1ª posizione** troviamo i **numeri di Kemler**, che indicano il *tipo di materiale*.

- 2 gas,
- 3 liquido infiammabile,
- 4 solido infiammabile,
- 5 materiale comburente,
- 6 materiale tossico (qui troviamo anche il cartello a forma di rombo),
- 8 materiale corrosivo.

In **2ª posizione** troviamo il numero di Kemler che indica il *tipo di pericolo primario*:

- 0 materia senza pericoli secondari,
- 1 materia senza pericoli particolari,
- 2 rischio emissione di gas dovuta a pressione o a reazione chimica,
- 3 vapori di gas infiammabili,
- 4 materiale fuso,
- 5 proprietà comburenti,
- 6 proprietà tossiche,
- 8 proprietà corrosive,
- 9 rischio esplosione dovuta a decompressione spontanea od a polimerizzazione.

In **3a posizione** (eventuale) troviamo il numero che indica il *tipo di pericolo secondario*. Il raddoppio del numero di Kemler indica che il materiale è particolarmente pericoloso.

Esempi

20	gas inerte	223	gas refrigerato infiammabile
22	gas refrigerato	225	gas comburente refrigerato
23	gas infiammabile	25	gas comburente
66	materiale molto tossico		

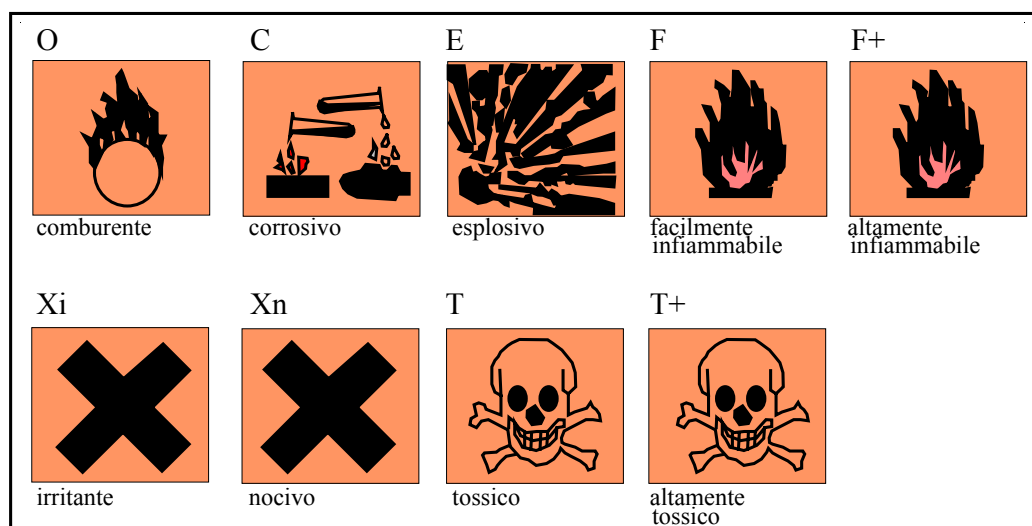


fig. 3.67. Etichette di pericolo

Colori dei Segnali:

- VERDE segnali di salvataggio (uscite di emergenza),
- ROSSO segnali antincendio (estintore idrante, bocchette antincendio ecc.),
- GIALLO segnali di pericolo (materiale tossico).

Codici R (D.M. 3/12/85 - Codici delle sostanze pericolose). Si tratta di frasi indicanti i rischi specifici che sono riportate sulle etichette dei contenitori delle sostanze pericolose

Esempi

R1	esplosivo allo stato secco	R11	facilmente infiammabile
R14	reagisce violentemente con l'acqua	R15	libera gas infiammabili a contatto con l'acqua

3. SERVIZI AZIENDALI

Codici S. Si tratta di frasi di consiglio. Sono riportate sulle etichette dei contenitori delle sostanze pericolose e suggeriscono le norme di prudenza da seguire per il maneggiare e la conservazione di tali sostanze.

Esempi

S 7	conservare il recipiente ben chiuso	S 16	tenere lontano da fiamme e scintille
-----	-------------------------------------	------	--------------------------------------

3.5.3.5. Autoaccensione ed autocombustione

tab. 3.XXVIII. Possibilità di autoaccensione di combustibili.

Combustibile e Comburente	Effetto
Composti organici	
oli grassi ed Ossigeno	accensione immediata
segatura ed Ossigeno liquido	esplosione
fieno, legumi ed aria	ferment. esotermica, possibile autocombustione
Metalli	
Fosforo bianco, Alluminio puro e Potassio	in presenza di Ossigeno esplodono, a contatto con l'aria, si accendono

In tab. 3.XXVIII sono riportati i combustibili che possono accendersi per *autocombustione*. In generale tutta la cellulosa (che ha **Ta** tra 30 e 60C.) si accende con molta facilità. I vegetali contengono circa il 60% di cellulosa e quindi sono facilmente infiammabili.

Il Fosforo bianco, l'Alluminio puro od il Potassio non possono essere spenti con acqua ed *il trasporto di questi materiali avviene in bagno d'olio*, per evitare il contatto con l'aria. Quindi, se un camion che trasporta questi particolari solidi ha un incidente e sono visibili perdite di olio, in breve tempo è possibile l'esplosione del contenuto.

3.5.4. Danni da Incendio

Come detto, il fuoco produce Gas, Corpuscoli, Luce e Calore, ma praticamente solo i gas ed il calore producono danni alle persone:

- i **gas**, con possibilità di blocco respiratorio e cardiaco,
- il **calore**, che provoca la disidratazione dei tessuti corporei. Il calore è dannoso per l'uomo potendo causare inoltre difficoltà o blocco della respirazione e scottature. Una temperatura dell'aria di circa 150C è da ritenere la massima sopportabile sulla pelle per brevissimo tempo, a condizione che l'aria sia sufficientemente secca. Tale valore si abbassa se l'aria è umida. Purtroppo negli incendi sono presenti notevoli quantità di vapore acqueo. Una temperatura di circa 60C è da ritenere la massima respirabile per breve tempo. L'irraggiamento genera ustioni sull'organismo umano, che possono essere classificate, a seconda della loro profondità, in:
 - **ustioni di I grado**, superficiali e facilmente guaribili,
 - **ustioni di II grado**, con formazione di bolle e vesciche, che obbligano alla *consultazione della struttura sanitaria*,
 - **ustioni di III grado**, profonde e che obbligano all'*urgente ospedalizzazione*.

Gli effetti sull'uomo dell'irraggiamento possono essere valutati secondo il metodo di Eisemberg, utilizzando la tab. 3.XXIX, e la tab. 3.XXX. Le difese dal calore più efficaci consistono in:

- **tute termoriflettenti**: cioè capaci di riflettere il calore,
- **autorespiratori a filtro d'aria**, cioè apparecchiature in cui l'aria, riscaldata dalla temperatura esterna, passa attraverso l'acqua e viene raffreddata, consentendone la respirazione.

tab. 3.XXIX. Energia radiante sulla superficie esposta [kW/m^2], effetti sull'uomo

Energia	Effetti sull'uomo
40	1% di probabilità di sopravvivenza
26	innesco di incendio sul materiale infiammabile
19	50% di probabilità di sopravvivenza
5.0	danni agli operatori con indumenti di protezione esposti per lungo tempo
2.0	scottature di 2° grado
1.8	scottature di 1° grado
1.4	limite di sicurezza per persone vestite esposte per lungo tempo

tab. 3.XXX. Effetti dell'incendio sui materiali da costruzione, valori da *Software SIGEM-SIMMA Ministero dell'Interno - C.N.VV.F.*

Energia radiante [kW/m^2]	Effetti sulle strutture
60	Cedimento strutture in calcestruzzo
40	Cedimento strutture in acciaio
33	Ignizione del legno entro un minuto
12,6	Danneggiamento di serbatoi metallici
11,7	Danneggiamento cavi elettrici

L'**esplosione** è il risultato di una rapida espansione di gas dovuta ad una reazione chimica di combustione. Gli effetti della esplosione sono un picco di pressione, un'onda d'urto e la produzione di calore. Quando la reazione di combustione si propaga alla miscela infiammabile con una velocità minore di quella del suono, l'esplosione è chiamata **deflagrazione**. Quando la reazione procede nella miscela non ancora bruciata con velocità superiore a quella del suono la esplosione è detta **detonazione**. Gli effetti distruttivi delle detonazioni sono maggiori rispetto a quelli delle deflagrazioni.

Un'esplosione può aver luogo quando gas, vapori o polveri infiammabili, entro il loro campo di esplosività, vengono innescati da un innesco avente sufficiente energia. In particolare, in un ambiente chiuso saturo di gas, vapori o polveri, l'aumento della temperatura dovuto al processo di combustione sviluppa un aumento di pressione che può arrivare fino ad 8 volte la pressione iniziale.

L'unico modo di proteggersi dalle esplosioni consiste nel prevenire la formazione di miscele infiammabili nel luogo ove si lavora, in quanto è praticamente impossibile disporre di misure che fronteggiano gli effetti delle esplosioni, come è invece possibile fare con gli incendi.

3.5.4.1. Classi di Incendio

Una classificazione dei fuochi trae origine dalla constatazione che i fattori decisivi per il comportamento di una sostanza in caso di incendio sono la sua composizione chimica e la sua struttura.

Il Comitato Europeo per la normalizzazione ha emanato una serie di norme per classificare i fuochi in ragione del combustibile. Tali norme sono state recepite e adottate dalla legge italiana. In accordo con la fig. 3.68, le **classi di Incendio** sono 4 e così suddivise:

- A) **fuochi di materie solide**, che generalmente lasciano braci (carta, cartone, legno, trucioli, stracci, rifiuti, ecc.),
- B) **fuochi di liquidi infiammabili** (benzina, gasolio, alcool, vernici, solidi che si possono liquefare),
- C) **fuochi di gas** (metano, acetilene, propano, idrogeno, cloro, ecc.),
- D) **fuochi di metalli** (magnesio, potassio, fosforo, ecc.). Per questa categoria occorrono sistemi di spegnimento particolari e relativi al combustibile.



fig. 3.68. Classificazione degli incendi.

Inoltre, si possono individuare 4 **categorie di innesco**:

1. **accensione diretta**: materiale incandescente che viene a contatto col combustibile in presenza di Ossigeno (operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche statiche, ecc.),
2. **accensione indiretta**: calore di innesco per convezione ed irraggiamento termico (ad esempio correnti d'aria calda diffuse attraverso un vano scala o altri collegamenti verticali, ecc.),
3. **attrito**: calore di innesco prodotto dallo sfregamento di due materiali (malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti, motori; urti, rottura violenta di materiali metallici, ecc.),
4. **autocombustione** per calore prodotto dal combustibile stesso, come nel caso di lente ossidazioni, reazioni chimiche, decomposizioni esotermiche, azione biologica (cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti di olio di lino, polveri di ferro o nichel, fermentazione di vegetali, ecc.).

3.5.4.2. Metodi di Spegnimento

Come è noto, l'incendio si manifesta in presenza del triangolo del fuoco, cioè dei tre fattori *combustibile*, *comburente* e *temperatura di accensione* ed estinguerlo vuol dire agire su uno degli elementi del triangolo del fuoco. Così, nel caso di un incendio boschivo si può individuare un fronte del fuoco ed una distanza minima dal fuoco relativamente alla temperatura. Come sappiamo, uno dei metodi per spegnerlo è quello di fare una barriera al fuoco, costituita da un'area nella quale abbiamo totalmente eliminato combustibile, o scavando una trincea, od incendiando una porzione di vegetazione e creando un *controfuoco*. Quindi, in questo caso operiamo per sottrazione di combustibile. In altri casi potremmo operare sottraendo comburente con il soffocamento, od abbassando la temperatura, quindi agendo sulla temperatura **T_a**. Riassumendo, con l'impiego di estinguenti possiamo avere i seguenti tipi di azione:

Azione sul Combustibile, togliendo o separando ciò che non brucia da quello che brucia o viceversa. Per effettuare questa manovra sono indispensabili due condizioni:

- a) che fumo e calore consentano l'avvicinamento;
- b) che il materiale sia asportabile (pezzatura adeguata ai mezzi a disposizione sia manuali, sia meccanici).

Su incendi di grosse proporzioni una tale tecnica di intervento risulta difficile sia per le masse in gioco, sia per le temperature, che sovente sono elevatissime;

Azione sul Comburente, isolando il combustibile dall'atmosfera, in modo che l'incendio sia **soffocato**. Con questa tecnica, si può usare una copertura ignifuga, una coltre di sabbia, terra, polvere o schiuma, ma anche un gas che non sia combustibile né comburente (inerte) e purché sia più pesante dell'aria.

Azione di Raffreddamento, che incide negativamente sulla combustione, abbattendo la temperatura. Tra gli estinguenti più usati per produrre questa azione, particolarmente è l'acqua, che presenta anche il vantaggio di essere facilmente reperibile. In termini concettuali qualunque sostanza liquida, grassa, ma anche solida, proiettata sul fuoco produce un raffreddamento, tanto più incisivo quanto maggiore sarà il calore specifico, il calore latente di cambiamento di fase, la differenza di temperatura fra estinguento e combustibile. Quindi, anche le masse in gioco hanno importanza,

Azione Chimica, che viene realizzata con l'uso di sostanze che interagiscono negativamente con la reazione fuoco. Il meccanismo estinguento è un pò complesso. Sostanzialmente si tratta di liberare composti chimici che si combinano con i prodotti di trasformazione del combustibile, rendendoli inadatti alla combustione e bloccando così la reazione chimica. Le più note sostanze catalizzatrici negative della combustione che vengono utilizzate come estinguento sono gli idrocarburi alogenati. Oggi si studiano prodotti alternativi poiché, alla stregua dei CFC, gli alogenati con il loro elevato contenuto di Cl minano lo strato di ozono atmosferico.

3.5.4.3. Gli Estinguenti

Come detto, l'**Acqua** è l'elemento estinguento più noto e più facile da reperire. La sua azione si basa soprattutto sul raffreddamento del combustibile, ma non si devono dimenticare gli effetti di diluizione e di separazione dell'O₂ atmosferico da parte del vapore prodotto dall'evaporazione. Nel campo degli estintori portatili l'acqua è un agente estinguento praticamente assente, perché, a parità di peso, le altre sostanze presentano un'efficacia ed un'affidabilità maggiori. Poi, a basse temperature, l'acqua congela rendendo inutilizzabile l'estintore.

L'acqua si utilizza prevalentemente su incendi di classe **A** (combustibili solidi) ed in assenza di corrente elettrica. Essa è controindicata per gli incendi di classe **B** (combustibili liquidi), perché generalmente ha un peso specifico maggiore di quello dei combustibili liquidi (essa precipiterebbe al di sotto del liquido infiammabile, senza intaccare i processi di combustione che avvengono in superficie). In taluni casi, proprio per l'inappropriato utilizzo dell'acqua si è avuto il tracimamento del combustibile liquido dai contenitori, con susseguente propagazione delle fiamme all'esterno. Sugli incendi di classe **C** (gas), il più delle volte l'acqua risulta inadatta. È addirittura **vietata sui fuochi di classe D (metalli)** che possono reagire violentemente al contatto con l'acqua.

Sembra corretto sottolineare che spesso l'acqua viene utilizzata non già per un attacco diretto all'incendio, bensì per produrre *un'efficace opera di raffreddamento* su serbatoi e bombole, valida per contenerne la pressione o la tensione di vapore del combustibile contenuto. Analoga efficacia si riscontra utilizzandola per raffreddare muri o pilastri che, ad alte temperature, possono deformarsi o perdere la loro resistenza statica.

Le **Schiume**. La schiuma è un agente estinguente costituito da una soluzione acquosa di uno schiumogeno e che, quindi, *non può essere utilizzata su parti in tensione*. L'azione estinguente delle schiume avviene per separazione del combustibile dal comburente. Normalmente, esse sono impiegate per incendi di liquidi infiammabili.

In base al rapporto tra il volume della schiuma prodotta e la soluzione acquo-schiumogeno d'origine, gli schiumogeni si distinguono in agenti di:

alta espansione 1:500÷1:1000, scarsamente usati per la scarsa gittata,

media espansione 1:30÷1:200,

bassa espansione 1:6÷1:12.

Sono disponibili diversi tipi di liquidi schiumogeni, che vanno impiegati in relazione al tipo di combustibile:

liquidi schiumogeni fluoro-proteinici, formati da una base proteinica addizionata con composti fluorurati, che sono adatti a formare di schiume a *bassa espansione* ed hanno un effetto rapido e molto efficace su incendi di prodotti petroliferi,

liquidi schiumogeni sintetici, formati da miscele di tensioattivi ed adatti alla formazione di *tutti i tipi di schiume*. Garantiscono una lunga conservabilità nel tempo e sono molto efficaci per azione di soffocamento su grandi superfici e volumi,

liquidi schiumogeni fluoro-sintetici (AFFF - Aqueous Film Forming Foam), formati da composti fluorurati. Essi sono adatti alla formazione di schiume a *bassa e media espansione* ed hanno la caratteristica di scorrere rapidamente sulla superficie del liquido incendiato. In confronto agli altri, l'impiego degli schiumogeni AFFF ha una più efficace azione estinguente e quindi consente lo spegnimento in tempi più rapidi e con una minore portata di soluzione schiumogena,

liquidi schiumogeni per alcoli, formati da una base proteinica additivata con metalli organici. Essi sono adatti alla formazione di schiume a *bassa espansione* e sono molto efficaci su incendi di alcoli, esteri, chetoni, eteri, aldeidi, acidi, fenoli, etc.

L'**Anidride Carbonica**. I gas inerti utilizzati per la difesa dagli incendi di ambienti chiusi sono generalmente la CO₂, ed in minor misura l'N₂. La loro presenza in aria riduce la concentrazione del comburente, fino ad impedire la combustione.

Differentemente dall'N₂, la CO₂ produce anche un'efficace azione estinguente per raffreddamento dovuta all'assorbimento del calore latente di vaporizzazione.

Nella seguente tabella sono riportate le percentuali in volume di CO₂ e di N₂ necessarie per inertizzare l'atmosfera, cioè la quantità necessaria a renderla incapace di alimentare la combustione di alcune sostanze infiammabili.

SOSTANZA	AZOTO (% in volume)	CO ₂ (% in volume)
acetone	45,2	32,4
alcool etilico	49,6	38,5
benzolo	47,1	34,3
idrogeno	76,4	72,1
metano	42,8	31
propano	45,6	32,4
benzina	45,2	31,9

La CO₂ ha densità relativa all'aria di 1.5282, è perfettamente dielettrica. Essa viene compressa in estintori ad una pressione di 70bar circa, così da liquefarla a temperatura ambiente. Le bombole, con ogiva colorata di grigio, sono provviste di un comando a volantino o a grilletto che, una volta azionato, lascia fuoriuscire il CO₂ da un cono diffusore volutamente realizzato in materiale isolante e poco adatto alla trasmissione del calore. Infatti, in fase di erogazione, l'anidride carbonica ritorna allo stato gassoso producendo un repentino abbassamento della temperatura, evidenziata dalla formazione di neve carbonica. Trattandosi di un gas, il CO₂ trova particolare impiego in ambienti confinati, su fuochi di classe **A**, **B** e **C**.

Bisogna prevedere la possibilità che le materie investite dall'estinguente in questione, per effetto delle bassissime temperature, possono subire uno **shock termico**. L'operatore presterà particolare attenzione per evitare accidentali contatti con l'estinguente, cosa che potrebbe provocargli **lesioni da freddo**. Dopo ogni utilizzo, è necessario ventilare l'ambiente in cui si è agito, evitando la permanenza nel locale dove è stato utilizzato il CO₂, anche se generalmente l'incendio dovrebbe essere domato prima che si raggiungano concentrazioni tali di anidride carbonica da essere pericolose per l'uomo. All'aperto e specie nelle giornate ventilate, l'utilizzo del CO₂ risulta infruttuoso. La CO₂ non presenta limitazioni d'uso in presenza di elettricità, ma potrebbe non risultare efficace su incendi di classe **D**.

Gli estintori a **polvere** sono molto usati, poiché sono adatti ad estinguere pressoché tutte le classi di incendio, sono facili da usare e non contengono sostanze tossiche. La loro azione estinguente si realizza per soffocamento delle fiamme. L'azione di raffreddamento è modestissima, come anche quella di separazione meccanica delle braci. Le polveri sono costituite da particelle solide finissime a base di Bicarbonato di Sodio, Potassio, fosfati e sali organici. L'azione estinguente delle polveri è prodotta dalla loro decomposizione ad alta temperatura, che dà luogo sulla fiamma ad effetti chimici anticatalitici ed alla produzione di CO₂ e vapore di H₂O.

Le polveri sono adatte per tutte le classi di fuoco, anche se, per gli incendi di classe **D**, devono essere utilizzate polveri speciali. Infatti, gli estintori contengono polveri diverse a seconda del campo d'impiego preminente:

- Bicarbonato di Sodio e Potassio per le *classi di fuoco B e C*,
- Fosfato Ammonico, per le *classi di fuoco A, B e C*,
- Cloruro di Sodio e Potassio per la *classe D*.

Alle polveri di base si aggiungono altri prodotti come il Solfato Tricalcico, il Silicone e gli Stearati metallici, che rendono le polveri scorrevoli ed idrofughe.

3. SERVIZI AZIENDALI

La pressurizzazione dell'estintore avviene con gas inerte (di solito azoto), che garantisce l'espulsione delle polveri da un ugello o da una manichetta corta. Le polveri generalmente possono essere impiegate **anche in presenza di elettricità**, ma deve essere specificato sull'etichetta dell'estintore. È necessario evitare un uso eccessivo delle polveri, le quali, *pur non essendo tossiche o corrosive*, soprattutto negli ambienti chiusi potrebbero creare problemi di respirazione o di irritazione delle prime vie aeree ed agli occhi.

Gli **idrocarburi alogenati** sono sostanze chimiche pressurizzate, dette anche HALON (HALogenated - hydrocarbON), rappresentate da idrocarburi saturi, in cui gli atomi di H₂ sono parzialmente o totalmente sostituiti con atomi di Cl, Br o F. L'azione estinguente degli Halon avviene attraverso l'interruzione chimica della reazione di combustione. Questa proprietà viene definita catalisi negativa.

Gli Halon sono efficaci su incendi che si verificano in ambienti chiusi scarsamente ventilati. Il loro impiego non danneggia i materiali con cui vengono a contatto. Tuttavia, alcuni Halon ad alta temperatura si decompongono producendo gas tossici per l'uomo anche a basse concentrazioni, che sono facilmente raggiungibili proprio negli ambienti chiusi e poco ventilati. Le sigle più conosciute che hanno contraddistinto per molto tempo questi estinguenti sono Halon 1211 e Halon 2402. Attualmente sono allo studio prodotti alternativi, poiché i composti alogenati, alla stregua di tutti i CFC, sono stati banditi per la loro pericolosità per lo strato di ozono.

Tuttavia, gli agenti sostitutivi degli Halon di tab. 3.XXXI combinano al vantaggio della salvaguardia ambientale lo svantaggio di una minore capacità estinguente.

tab. 3.XXXI. Agenti sostitutivi degli Halon, tratti dallo standard NFPA 2001:

SIGLA	Nome della molecola	Formula bruta	Nome commerciale
FC-3-1-10	Perfluorobutano	C ₄ F ₁₀	CEA-410 3M
HBFC-22B1	Bromodifluorometano	CHF ₂ Br	è l'Halon 1201
HCFC Blend A	Diclorotrifluoroetano HCFC-123 (4,75%) Clorodifluorometano HCFC.22 (82%) Clorotetrafluoroetano HCFC-124 (9,5%) Isopropenil-1-metilcicloesene (3,75%)	CHCl ₂ CF ₃ CHClF ₂ CHClFCF ₃	NAF S-III NORTH AMERICA FIRE GUARDIAN TECHNOLOGY (Safety Hi-tech)
HCFC-124	Clorotetrafluoroetano	CHClFCF ₃	FE-241 DUPONT
HFC-125	Pentafluoroetano	CHF ₂ CF ₃	FE-25 DUPONT
HFC-227ea	Eptafluoropropano	CF ₃ CHFCF ₃	FM-200 FIKE (Silvani)
HFC-23	Trifluorometano	CHF ₃	PF-23 Vesta oppure FE-13 DUPONT
IG-541	Azoto (52%) Argon (40%) Anidride carbonica (8%)	N ₂ Ar CO ₂	INERGEN ANSUL (Wormald italiana)

3.5.5. La Resistenza al Fuoco.

I provvedimenti atti a realizzare la prevenzione all'interno di un edificio in cui sono presenti materiali combustibili risultano numerosi e legati al tipo di attività che ha luogo nell'edificio. Tra essi si possono citare il divieto di fumare, di usare fiamme libere e

produrre scintille, il rispetto delle distanze tra i fabbricati e gli ambienti, l'installazione di parafulmini, l'adozione di strutture resistenti (che è l'accorgimento più importante e di carattere generale, e costituisce la *prevenzione strutturale*), ecc. Tutti questi provvedimenti sono da prendere preliminarmente, in fase di progettazione dell'edificio, e sono legati alla quantità di sostanze combustibili presumibilmente presenti nell'edificio.

In accordo col D.M. 30/11/1983, il **Carico di Incendio** è la quantità di calore potenzialmente presente e rappresentato dalla totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio, ivi compresi i rivestimenti dei muri, delle pareti provvisorie, dei pavimenti e dei soffitti, espresso convenzionalmente in **kg di legno equivalente**. Esso è dato dalla:

$$q = \frac{\sum W_i \cdot H_i}{4.400} \quad (3.28)$$

in cui **q** è il carico di incendio, in kg, **W_i** è la quantità di massa di ogni tipo di materiale combustibile presente nell'ambiente, **H_i** è il potere calorifico inferiore (qui ancora misurato in kcal/kg, quindi per unità di massa) e **4.400 kcal/kg** è il potere calorifico inferiore *convenzionale* del legno. Il potere calorifico di alcuni materiali combustibili di uso comune sono riportati in tab. 3.XXXII.

Il Carico di Incendio è un indice importante di valutazione del rischio in quanto:

- rappresenta il potenziale termico della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio, determinato con l'ausilio di tab. 3.XXXII,
- fornisce il dato specifico, cioè per unità di area in pianta del locale, in kg/m²,
- esso è un indice di rischio ed, associato alla relativa classe del locale, esprime il tempo in minuti richiesto di resistenza al fuoco, quindi, assieme alla classe del locale determina la scelta del tipo di struttura resistente al fuoco.
- dà una misura del grado di pericolo cui è soggetto un edificio od un locale contenente materiali combustibili, come rappresentato in tab. 3.XXXIII,
- serve a calcolare, mediante un opportuno coefficiente di riduzione, un indice di rischio (sono previste 7 classi di edificio o di locale, secondo la C.M. 91 del 14/09/1961, ancora con i dati di tab. 3.XXXII,

tab. 3.XXXII. Potere Calorifico Inferiore di alcuni materiali.

Materiale	PCI [kcal/kg]
Tessuto di cotone	4.000
Carta	4.000
Paglia	3.700
Legno secco	2.800÷4.000
Carbone fossile	7.500÷8.000
Carbone coke	6.500÷7.200
Olio da forno	10.200÷11.000
Gasolio	10.200
Benzina	11.300

A seconda del valore assunto dal Carico di Incendio, alcune norme stabiliscono una valutazione del rischio ed una previsione della durata dell'incendio, come indicato in tab. 3.XXXIII. Poi, dato che alla durata dell'incendio corrisponde il raggiungimento di una temperatura da parte della struttura, noto il carico di incendio, si può risalire al comportamento delle strutture.

tab. 3.XXXIII. Relazione tra Carico di Incendio, valutazione del rischio e durata dell'incendio, secondo la normativa inglese.

Carico di Incendio [Mcal/m ²]	Entità del rischio	Durata dell'incendio [minuti]
<110	Leggero	15
110÷220	Leggero	40
220÷440	Medio	100
440÷570	Medio	
570÷660	Grande	180

Si osserva che le **strutture** (in particolare anche quelle di separazione tra gli ambienti) hanno un comportamento molteplice nei confronti dell'incendio, e la loro **resistenza** viene distinta con 3 classi che progressivamente ne indicano l'efficacia:

R stabilità: attitudine a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco,

RE tenuta: conservando la stabilità meccanica, è l'attitudine a non lasciar passare né a produrre, se sottoposto all'azione del fuoco su un lato, fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto,

REI isolamento termico: conservando la stabilità meccanica e la tenuta ai gas, è l'attitudine che una struttura manifesta a contenere, entro un dato limite, la trasmissione del calore tra i due ambienti che la struttura separa.

Le 3 sigle sono seguite da un numero che indica il tempo in minuti durante il quale la struttura, sottoposta a prove unificate, conserva le proprietà che la sigla esprime. Così, una struttura **REI 120** è in grado di mantenere le capacità di mantenere la propria *stabilità meccanica, tenuta ai gas ed isolamento termico* per 120 minuti.

tab. 3.XXXIV. Caratteristiche di resistenza al fuoco degli elementi strutturali degli edifici.

resistenza al fuoco REI [minuti]	15	30	45	60	90	120	150
	spessore minimo muro, escl. intonaco [cm]						
Laterizio pieno, intonaco normale	6	13	13	13	26	26	26
Laterizio pieno, intonaco isolante	6	6	6	13	13	26	26
Laterizio forato, intonaco normale	6	10	14	20	30	30	30
Laterizio forato, intonaco isolante	6	6	6	10	10	14	20
Calcestruzzo normale	8	8	10	10	10	12	16
Calcestruzzo leggero (con isolante pomice, perlite, scorie, ecc.)	8	8	8	8	8	10	10

Per intonaco isolante si intende a base di gesso, perlite o simili. Gli spessori di intonaco isolante sul laterizio forato dovranno corrispondere ai valori previsti alla tab. XXXIV, mentre quelli sul laterizio pieno sono ridotti a metà.

Tale **resistenza al fuoco** viene misurata in un apposito forno, sottoponendo la struttura (provino standard) ad un riscaldamento secondo la curva UNI di variazione della temperatura col tempo di fig. 3.69. Invece, la **reazione al fuoco** è il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco da cui è investito, ed è compresa tra la classe 0, dei materiali non combustibili, e la classe 5 di quelli altamente combustibili.

Le caratteristiche di resistenza al fuoco degli elementi strutturali degli edifici sono indicate in tab. 3.XXXIV.

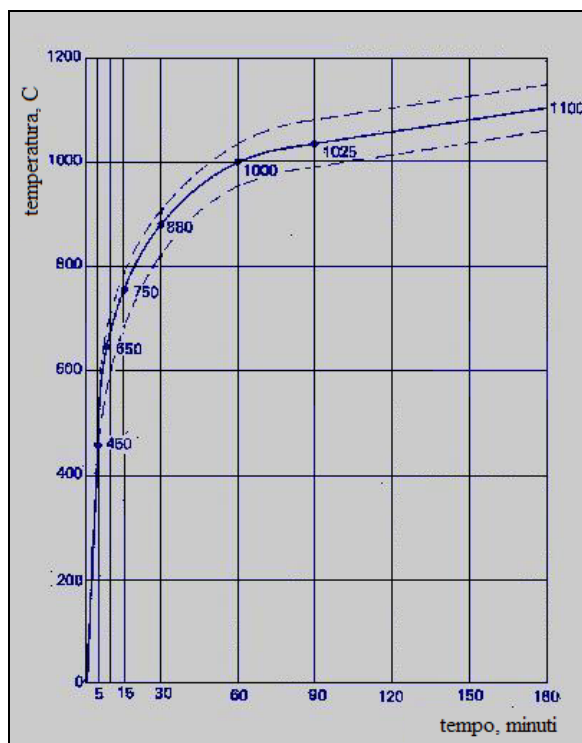


fig. 3.69. Curva UNI di variazione della temperatura nel tempo ed apparecchiatura per la determinazione della **Resistenza al Fuoco**. La curva è detta anche dell'*incendio standard*. In basso, la struttura di prova del Laboratorio LAPI di Prato, <http://www.laboratoriolapi.it/>

Esempio

È evidente che, in base a quanto affermato, la scelta delle strutture è semplice, in quanto è sufficiente scegliere quelle dotate di una resistenza al fuoco superiore al tempo di durata prevista dell'incendio. Se si ha un Carico di Incendio di 130 Mcal/m^2 , in base ai dati di tab. 3.XXXIV, ad esso corrisponde una durata di incendio dell'ordine di 40 minuti. Secondo la curva dell'*incendio standard* di fig. 3.72, con tale durata si raggiunge una temperatura di circa 900°C . Dalla tab. 3.XXXIV, approssimando per eccesso la durata ad 1h, si vede che, in tali condizioni, si rendono necessari muri di almeno 13cm di mattoni pieni intonacati, oppure 20cm di mattoni forati, od, infine, 10cm di calcestruzzo.

Infine, per ridurre la pericolosità di un ambiente industriale è conveniente effettuarne la **compartimentazione**, per prima cosa riducendone il Carico di Incendio. Il compartimento è una porzione di edificio delimitata da elementi costruttivi di predeterminata resistenza al fuoco ed organizzata in modo da rispondere alle esigenze di prevenzione incendi. La compartimentazione serve a contenere l'emergenza in spazi dove poter intervenire ed avere la ragionevole certezza che l'emergenza non si estenda al resto delle attività o all'esterno. Una volta individuata la classe di un compartimento, il progettista deve prevedere strutture che assicurino la corrispondente resistenza al fuoco. I compartimenti sono separati da muri **tagliafuoco**, in quanto presentano caratteristiche tali da impedire, per un certo tempo, la trasmissione dell'incendio da una parte all'altra della struttura. Per tale caratteristica essi sono classificati con l'indicazione REI.

3.5.5.1. Distanze Interne ed Esterne

L'incendio comporta il rischio della propagazione a causa:

- del calore radiante,
- delle correnti convettive,
- della proiezione di materiale ardente.

Perciò, è necessario prevedere una **Distanza di Sicurezza** tra gli edifici o le zone a rischio di incendio per contenerne il pericolo di propagazione. Si distingue tra distanze **esterne** (distanze di sicurezza) che sono da tenersi fra l'attività a rischio e l'esterno, e distanze **interne** che dividono gli impianti o le zone a rischio dal resto dell'attività.

La determinazione della Distanza di Sicurezza è regolamentata dal D.M. 31/03/84 e viene fatta in base a:

- la conformazione geometrica dell'edificio (larghezza/altezza),
- le aperture esistenti nell'edificio potenzialmente in fiamme,
- il rischio di incendio.

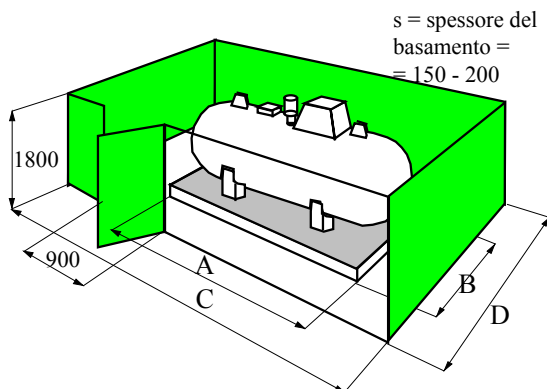
Ad esempio, nel caso del serbatoio di GPL fuori terra di fig. 3.70, è necessario osservare le limitazioni indicate, dipendenti dalla capacità del serbatoio.

3.5.5.2. Vie di Esodo, Uscite ed Illuminazione di Sicurezza

Le **vie di esodo** sono il percorso previsto fra il luogo di lavoro e:

- l'uscita più vicina,
- una scala protetta o a prova di fumo,
- un luogo sicuro (in genere),

e la loro lunghezza deve essere inferiore a 30m. Sono tollerate zone a *cul de sac* (cioè ambienti ad una sola comunicazione), se vi si eseguono lavorazioni ordinarie e se di lunghezza non superiore a 12÷15m.



CAPACITA' [litri]	A	B	C	D
1.000 vert.	1.500	1.500	3.000	3.000
1.000 orizz.	2.500	1.500	4.200	2.800
1.750	3.000	2.000	4.600	3.000
3.000	3.500	2.000	4.950	3.200
5.000	5.500	2.000	6.750	3.200

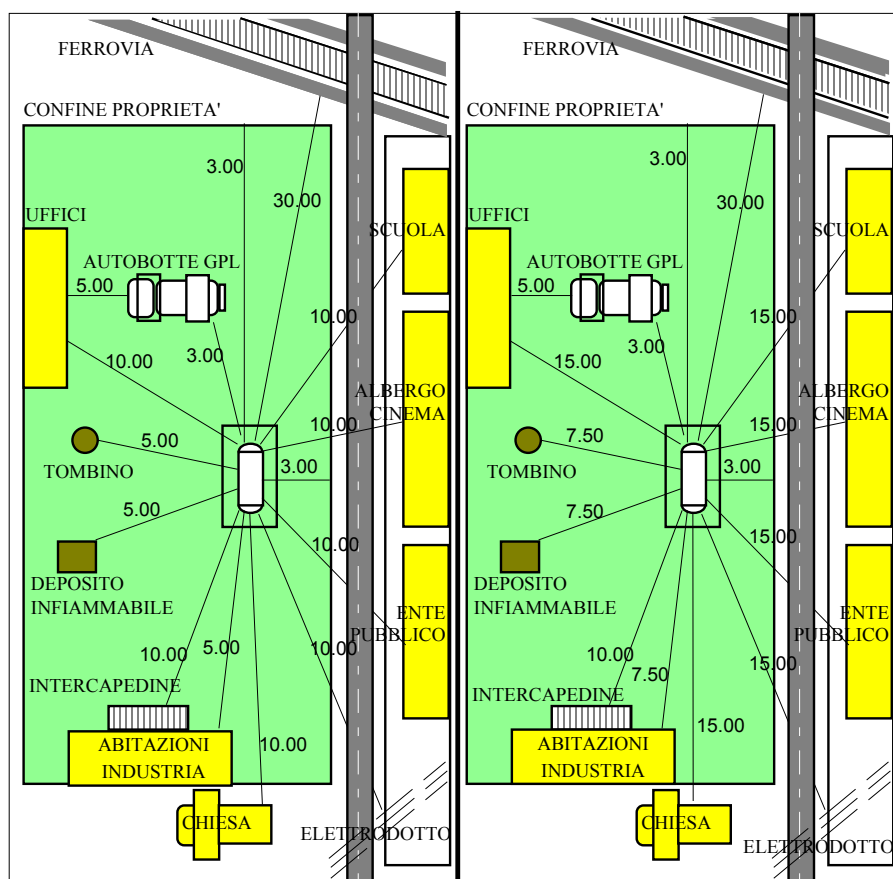


fig. 3.70. Indicazioni di legge per l'installazione *fuori terra* di un serbatoio di GPL, di capacità inferiore o pari a 5m^3 , secondo il D.M. 31/03/84. In basso, a sinistra $V < 3\text{m}^3$, a destra $V < 5\text{m}^3$.

Per la progettazione delle vie di esodo, è necessario tener conto dei seguenti parametri:

- *affollamento*, cioè del numero massimo di persone contemporaneamente presenti nella zona,
- *modulo di uscita*, cioè l'unità di larghezza standard di un'uscita di sicurezza, pari a 60cm. Quindi, un'uscita di sicurezza di 90cm rappresenta 1,5 moduli, ecc,

3. SERVIZI AZIENDALI

- *deflusso per modulo*, cioè la quantità di persone che possono defluire da un modulo nell'unità di tempo (minuto),
- *deflusso totale* che è il prodotto del deflusso per modulo per il numero totale di moduli di un'uscita,
- *luogo calmo*, cioè uno spazio comunicante con una via di esodo, in cui non si verifichi intralcio al percorso ed in cui sia possibile lo stazionamento delle persone in attesa di soccorso,
- *luogo sicuro*, che è uno spazio esterno a cielo libero od uno spazio interno, separato con filtri e strutture di compartimentazione dai luoghi di pericolo ed in cui sia riscontrata la totale sicurezza.

Per essere identificata in tal modo, un'**Uscita di Sicurezza** deve osservare le seguenti caratteristiche:

- il senso di apertura deve essere sempre verso l'esterno e nel senso dell'esodo,
- la larghezza deve essere sempre calcolata in funzione delle persone da evacuare,
- l'altezza non può essere mai inferiore a 2m,
- deve essere segnalata con la cartellonistica di sicurezza prevista,
- l'illuminazione deve essere sempre sufficiente a consentire una buona visibilità,
- l'apertura deve essere facilitata, del tipo a spinta.

Le uscite di sicurezza concludono le vie di esodo e devono essere rispettati i seguenti vincoli:

- devono essere sempre lasciate libere da ingombri di ogni tipo;
- il pavimento delle aree di transito deve essere lasciato in ordine, evitando la presenza di liquidi che possano renderle scivolose;
- i cartelli di segnalazione dei percorsi di fuga non devono essere imbrattati o resi poco visibili;
- le uscite di emergenza non devono mai essere chiuse e non deve essere mai impedita la loro apertura.

L'**impianto di Illuminazione di Sicurezza** deve fornire, in caso di mancata erogazione dalla rete di energia elettrica, un'illuminazione sufficiente a permettere di evacuare in sicurezza i locali (intensità minima di illuminazione 5lux). Pertanto, dovranno essere illuminate le indicazioni delle porte e delle uscite di sicurezza, i segnali indicanti le vie di esodo, i corridoi e tutte quelle parti che è necessario percorrere per raggiungere un'uscita verso il luogo sicuro. Per quanto possibile, le lampade ed i segnali luminosi dell'impianto di illuminazione di sicurezza non sono posizionati in alto (la presenza di fumo ne potrebbe ridurre la visibilità in maniera drastica sin dai primi momenti).

L'impianto deve essere alimentato da un'adeguata fonte di energia, quali batterie in tampone o batterie di accumulatori con dispositivo per la ricarica automatica (con autonomia variabile da 30 minuti a 3 ore, a seconda del tipo di attività e delle circostanze) oppure da un apposito ed idoneo gruppo elettrogeno. L'intervento deve avvenire in automatico, in caso di mancanza della fornitura principale dell'energia elettrica, entro 5 secondi circa (se l'alimentazione di sicurezza parte dai gruppi elettrogeni, il tempo può raggiungere i 15 secondi).

In caso di impianto alimentato da gruppo elettrogeno o da batterie di accumulatori centralizzate sarà necessario posizionare tali apparati in luogo sicuro, non soggetto allo stesso rischio di incendio dell'attività protetta; ed il circuito elettrico deve essere indipendente da qualsiasi altro ed inoltre protetto dai danni causati dal fuoco, da urti, ecc.

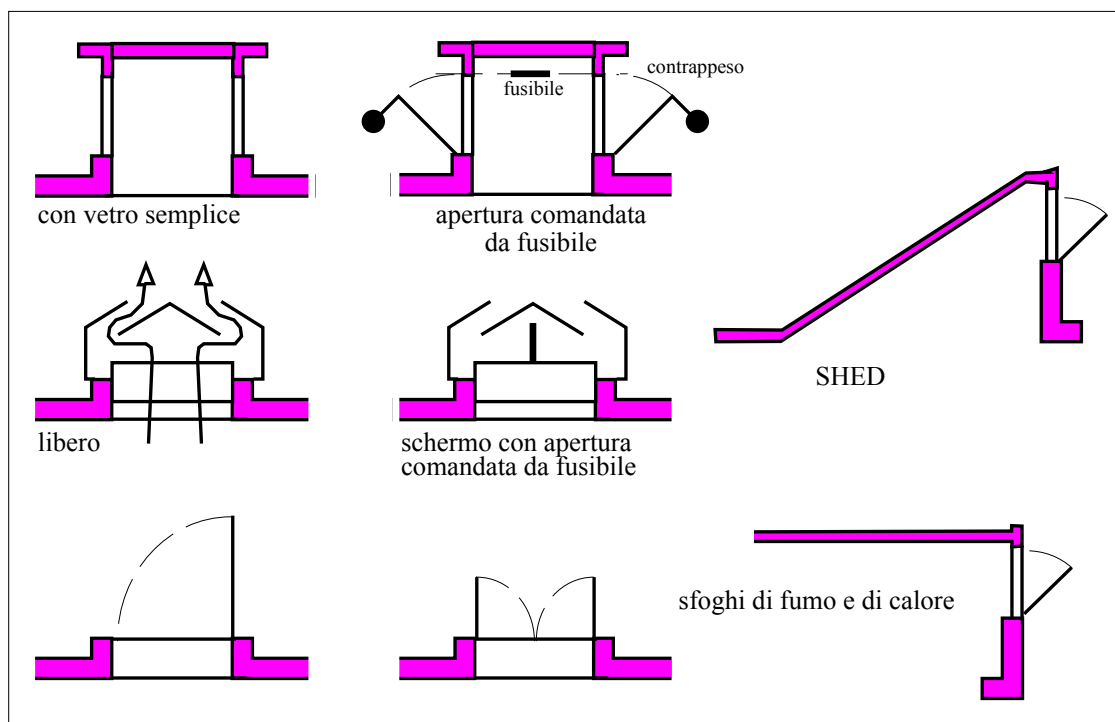
3.5.5.3. Misure di Protezione Passiva.

La protezione passiva è l'insieme delle misure che non richiedono l'azionamento manuale di un impianto. Come sempre, hanno come obiettivo la limitazione degli effetti dell'incendio nello spazio e nel tempo, cioè la garanzia dell'incolumità dei lavoratori, la limitazione degli effetti nocivi dei prodotti della combustione, il contenimento dei danni ad animali, strutture, macchinari, beni, ecc.

Questi fini possono essere perseguiti con:

sistemi di ventilazione:

- *lucernari a soffitto*, i quali possono essere ad apertura comandata dello sportello o ad apertura per rottura del vetro,
- *ventilazioni statiche continue*, che avvengono attraverso fessure laterali continue. L'ingresso dell'acqua è impedito da schermi e cappucci opportunamente disposti. In taluni casi la chiusura è costituita da una serie di sportelli con cerniera centrale o laterale, la cui apertura in caso d'incendio avviene automaticamente per la rottura di un fusibile,



- *sfoghi di fumo e di calore*, il cui funzionamento è in genere automatico, a mezzo di fusibili od altri congegni, oppure manuale. È preferibile avere il maggior numero possibile di sfoghi, al fine di ottenere che il sistema di ventilazione entri in funzione il più presto possibile ed in modo che la distanza tra l'incendio e lo sfogo sia la più piccola possibile,
- *aperture a shed*, che si possono prestare ad ottenere risultati soddisfacenti, se vengono predisposti sportelli di adeguate dimensioni ad apertura automatica o manuale,
- *superfici vetrate normali*, i cui vetri semplici si rompano sotto l'effetto del calore. Questa soluzione può essere adottata a condizione che sia evitata la caduta dei pezzi di vetro per rottura accidentale, con l'adozione di una rete metallica di protezione.

3.5.5.3.1. Evacuatori di Fumi

Tali sistemi di protezione attiva dall'incendio sono di frequente utilizzati in combinazione con impianti di rivelazione e sono basati sullo sfruttamento del movimento verso l'alto delle masse di gas caldi generate dall'incendio che, a mezzo di aperture sulla copertura, vengono evacuate all'esterno.

Pertanto, gli evacuatori di fumo e calore (EFC) consentono di:

- agevolare lo sfollamento delle persone presenti e l'azione dei soccorritori, grazie alla maggiore probabilità che i locali restino liberi da fumo almeno fino ad un'altezza da terra tale da non compromettere la possibilità di movimento,
- agevolare l'intervento dei soccorritori rendendone più rapida ed efficace l'opera,
- proteggere le strutture e le merci contro l'azione del fumo e dei gas caldi, riducendo in particolare il rischio e di collasso delle strutture portanti,
- ritardare o evitare l'incendio a pieno sviluppo, flash over,
- ridurre i danni provocati dai gas di combustione o da eventuali sostanze tossiche e corrosive originate dall'incendio.

Gli EFC devono essere installati, per quanto possibile, in modo omogeneo nei singoli compartimenti, a soffitto in ragione, ad esempio, di uno ogni 200m^2 (su coperture piane o con pendenza minore del 20 %), come previsto dalla norma tecnica di progettazione UNI - VVF 9494.

Per il calcolo degli evacuatori, deve essere determinata la durata convenzionale di sviluppo dell'incendio, che è la somma del tempo di allarme e del tempo di intervento. Il **tempo di allarme** è pari a 5 minuti (0 nel caso di presenza di rilevatori di fumo), mentre il **tempo di intervento** varia da 5 a 20 minuti, se esiste una *squadra interna*, e deve essere commisurato alla prevedibile velocità di sviluppo dell'incendio (a sua volta variabile tra un limite basso di 0.5cm/s ed uno alto $>1\text{cm/s}$). Nel caso in cui non esista una squadra interna, è necessario l'intervento dei VV.F. ed il tempo di intervento viene valutato come il valore massimo del tempo intercorrente tra la chiamata e l'arrivo dei mezzi di intervento, quindi tenendo conto della distanza dell'attività da proteggere dal presidio VV.F. e della condizioni di traffico più sfavorevoli.

La protezione dal fumo assume particolare importanza proprio nel caso di edifici ad un solo piano di notevole dimensione, come quelli impiegati nell'industria. In queste costruzioni, il fumo ed i gas caldi generati da un incendio raggiungono il soffitto formando uno strato che si diffonde radialmente in tutte le direzioni, dalla verticale sul focolaio verso le pareti di delimitazione. Durante lo sviluppo dell'incendio, tale strato viene incrementato da una portata pari approssimativamente a quella dell'aria fredda richiamata dall'azione di tiraggio dell'incendio. L'aria si muove in direzione opposta a quella dello strato di fumo e gas caldi, cioè si muove dalle aperture verso il focolaio. Nel caso pratico più frequente di incendio di limitata entità, le aperture elencate sopra sono uno sfogo sufficiente ad evacuare il fumo ed i gas che si formano. La quantità di fumo e gas che può essere convogliata attraverso l'apertura di area **A** dipende dallo spessore d_p dello strato e dalla differenza di temperatura tra il fumo ed i prodotti della combustione e l'aria esterna. Il calcolo rigoroso della superficie **A** da assegnare all'apertura è complesso, per cui si ricorre a tabelle del tipo di tab. 3.XXXV, che fornisce l'area **A** come frazione dell'intera area in pianta del compartimento e dove gli intervalli vanno ripartiti in base alla suddivisione di rischio leggero, medio e grande.

tab. 3.XXXV. Determinazione della superficie delle aperture di ventilazione.

Carico di Incendio [Mcal/m ²]	Superficie dell'apertura A, rapporto alla superficie totale del compartimento
<270	0.65÷1.20
270÷570	1.20÷1.70
570÷1080	1.70÷2.50

3.5.5.3.2. Altre Misure di Protezione Passiva

sistema di vie d'uscita commisurate al massimo affollamento ipotizzabile dell'ambiente di lavoro ed alla pericolosità delle lavorazioni;

barriere antincendio. La protezione passiva realizzata con tale metodo è basata sul concetto dell'interposizione, tra aree potenzialmente soggette ad incendio, di spazi scoperti o di strutture. Nel caso di interposizione di spazi scoperti, la protezione ha lo scopo di impedire la propagazione dell'incendio, principalmente per irraggiamento. Come visto sopra, nella terminologia utilizzata per la stesura delle normative nazionali ed internazionali per indicare l'interposizione di spazi scoperti fra gli edifici od installazioni, si usa il termine di *distanze di sicurezza*. Una di esse è da considerarsi la *distanza di protezione*, che è definita come la distanza, misurata orizzontalmente, tra il perimetro in pianta di ciascun elemento pericoloso di un'attività e la recinzione (ove prescritta) ovvero il confine dell'area su cui sorge l'attività stessa.

In via teorica, la determinazione delle distanze di sicurezza è basata sulle determinazioni dell'energia termica irraggiata dalle fiamme di un incendio. Esistono vari modelli di calcolo, che forniscono dati orientativi. Invece, nelle norme antincendio ufficiali vengono introdotti valori ricavati empiricamente da dati ottenuti dalle misure dell'energia raggiante di incendi reali e sperimentali. In definitiva, tra le barriere antincendio vanno considerate:

- *l'isolamento dell'edificio,*
- *le distanze di sicurezza esterne ed interne,*
- *i muri tagliafuoco, schermi etc.*

Quindi, sempre in via teorica, ai fini della protezione sarebbe preferibile realizzare i cicli produttivi mediante la suddivisione in un certo numero di edifici separati da spazi aperti, in ognuno dei quali si svolge una particolare fase della produzione e generare situazioni di rischio minimo, come si fa effettivamente nelle fabbriche di esplosivi. Ovviamente motivi di ordine economico non sempre consigliano tale soluzione, e si cercano situazioni di compromesso, con l'adozione di opportune compartimentazioni, come si dirà subito sotto;

strutture con resistenza al fuoco commisurata ai carichi d'incendio. Appare evidente che **compartimentare** una struttura ricorrendo alla sola adozione di distanze di sicurezza comporta l'utilizzo di grandi spazi che devono essere lasciati vuoti e costituiscono di per sé una misura poco conveniente, dal punto di vista economico. Infatti, realizzare una barriera antincendio, anche nel caso di edifici industriali dove si dispone di solito di grandi spazi comporta l'aumento dei tempi di lavorazione e dei costi relativi al trasporto dei prodotti all'interno del ciclo produttivo.

Pertanto, la protezione passiva si realizza anche mediante elementi di separazione strutturale del tipo **tagliafuoco**, come rappresentato in fig. 3.71.

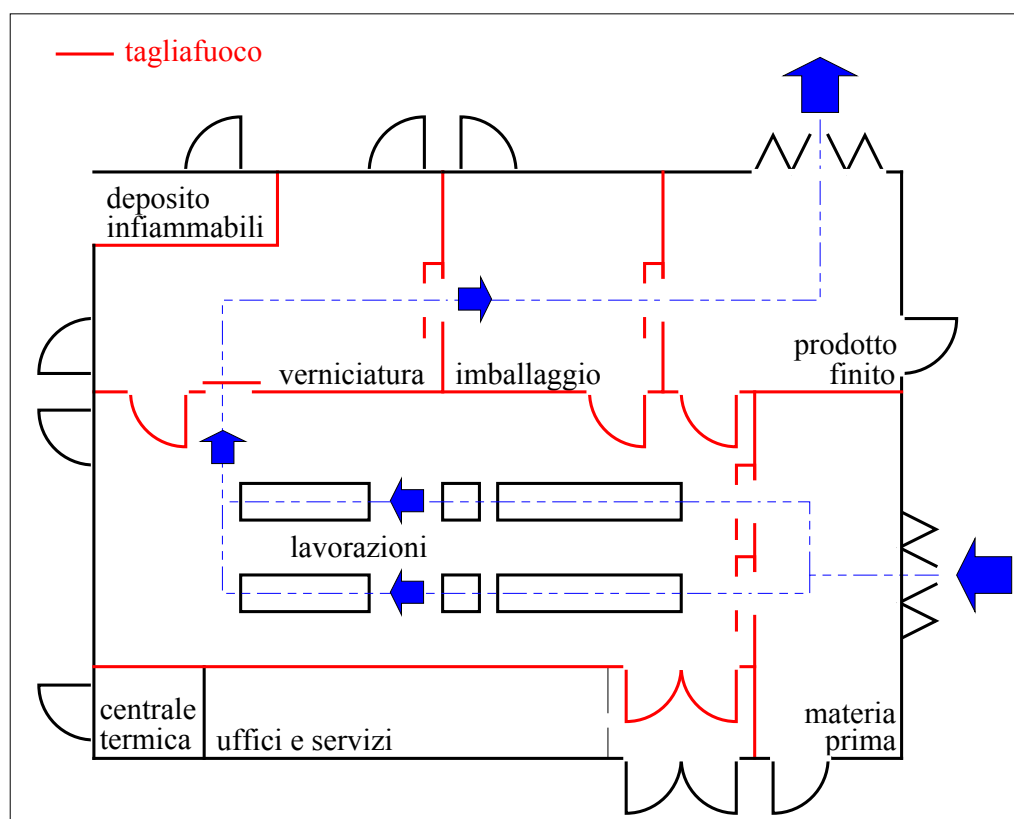


fig. 3.71. Compartimentazione anche mediante strutture e sportelli tagliafuoco a chiusura automatica.

materiali classificati per la reazione al fuoco. Come visto in §3.5.5, la resistenza al fuoco delle strutture è rappresentata dal comportamento al fuoco **REI** degli elementi sia portanti, sia separanti, e che hanno funzioni strutturali negli edifici.

La determinazione della resistenza al fuoco delle strutture si effettua generalmente mediante l'esperimento di fig. 3.69 (Circolare del Ministero dell'Interno n.91 del 1961), che si basa su una relazione tra la durata presumibile dell'incendio ed il carico d'incendio che caratterizza il compartimento in esame. Inoltre, si deve fare riferimento all'**incendio standard**, che presenta la curva temperatura-tempo di fig. 3.69, che è piuttosto severa, rispetto alle possibili condizioni reali.

Così, le barriere antincendio, realizzate mediante interposizione di elementi strutturali, hanno la funzione di impedire la propagazione degli incendi sia lineare (barriere locali), sia tridimensionale (barriere totali) all'interno dell'edificio ed, in alcuni casi, permettono la riduzione delle distanze di sicurezza.

Per una completa ed efficace compartimentazione, i muri tagliafuoco non dovrebbero avere aperture, ma è ovvio che in un ambiente di lavoro è necessario assicurare l'agevole comunicazione tra tutti gli ambienti, anche se a diversa destinazione d'uso. Pertanto, è inevitabile realizzare le comunicazioni e dotarle di elementi di chiusura aventi le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco del muro su cui sono applicati. Tali elementi di chiusura si possono distinguere in:

- **porte incernierate**, purché munite di sistemi di chiusura automatica quali fusibili, cavetti e contrappesi o sistemi idraulici od a molla che, in caso d'incendio, fanno chiudere il serramento;
- **porte scorrevoli**, cioè sospese ad una guida inclinata di pochi gradi rispetto al piano orizzontale mediante ruote fissate al pannello. Normalmente stanno in posizione aperta trattenute da un contrappeso e da un cavo in cui è inserito un fusibile che, in caso d'incendio, fonde liberando il contrappeso e permettendo alla porta di chiudersi;
- **porte a ghigliottina**, cioè installate secondo un principio analogo a quello adottato per le porte scorrevoli, ma con la differenza che in questo caso il pannello viene mantenuto sospeso sopra l'apertura e le guide sono verticali.

Per quanto attiene al trattamento delle strutture, è ormai noto che alcuni particolari rivestimenti, tra i quali vernici intumescenti, conseguono una vera e propria azione protettiva delle strutture sulle quali sono applicate, realizzando un grado di resistenza al fuoco molto elevato, come si verifica sperimentalmente. Prerogativa essenziale di questi elementi protettivi è di essere ininfiammabili, di possedere capacità isolanti al calore, nonché la particolarità di rigonfiarsi, schiumando, generando così uno strato coibente ed isolante, quando sono investite dalla fiamma o da una sorgente di calore ad alta temperatura.

3.5.5.4. **Misure di Protezione Attiva.**

Per la protezione attiva, cioè con l'intervento antincendio manuale, le apparecchiature ed attrezzature più comuni sono:

- i sistemi di rivelazione,
- gli estintori portatili e carrellati,
- gli idranti ed i naspi,
- gli sprinkler,

I sistemi di *protezione* attiva non prevengono il verificarsi dell'incendio, ma intervengono sul controllo e l'estinzione del fuoco.

3.5.5.4.1. **Il Sistema di Rivelazione**

Importanti e da tenere in considerazione per la prevenzione degli incendi, sono gli impianti di rivelazione dei fumi e calore, previsti anche dal D.M. 10.03.1998. Gli impianti di rivelazione automatica degli incendi fanno parte della **protezione attiva**.¹⁰

Poiché l'incendio è una reazione chimica accompagnata dallo sviluppo di fenomeni fisici, la variabile fondamentale per comprendere le varie fasi di sviluppo è il tempo. La maggior parte delle volte un incendio può essere contenuto intervenendo con rapidità al primo ravvisarsi di allarme. Quindi, ridurre il tempo di allarme è lo scopo fondamentale di questo tipo di impianti.

Ragionando, sappiamo che, durante un incendio, abbiamo trasmissione di calore per conduzione, convezione ed irraggiamento. Inoltre, come prodotti della combustione, abbiamo sostanze allo stato solido, liquido o gassoso. Dunque, nei sistemi di rilevamen-

¹⁰ PP. Pergolis, *Rivelatori di fumo fissi e portatili*,
http://www.antincendioweb.it/web/news/oggetti/news_155/index.htm

to degli incendi, i parametri fondamentali e più facili da rilevare sono la convenzione e l'irraggiamento, ed i prodotti della combustione che rimangono allo stato gassoso. Questi parametri provocano variazioni di grandezze tipiche che possono essere misurate con facilità, come ad esempio la temperatura, la densità, l'opacità, la luminosità. Perciò, la funzione tecnica del rivelatore è quella di un apparecchio che può effettuare misurazioni, in particolare riferite allo spazio ed al tempo. A loro volta, le misurazioni possono essere:

- assolute, con nessun valore di riferimento per la comparazione,
- integrali, in funzione di un valore di controllo,
- differenziali, in funzione di diverse misurazioni valutate nella loro complessità.

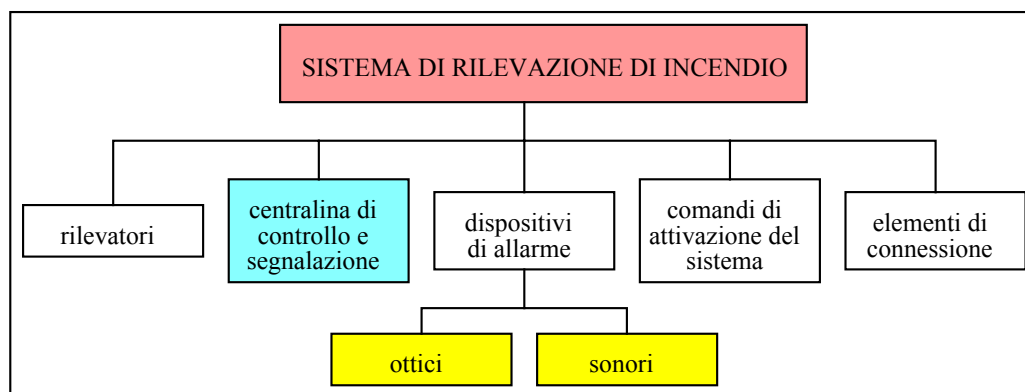


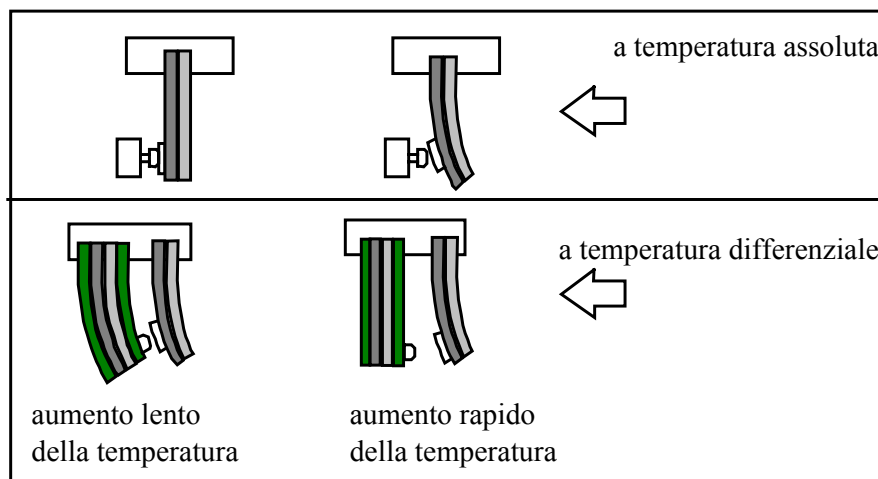
fig. 3.72. Impianto di rilevazione d'incendio.

Perciò, il rivelatore viene installato nell'area da sorvegliare, e misura le variazioni nel tempo delle grandezze scelte, oppure la velocità della loro variazione temporale o, ancora, la sommatoria delle variazioni, sempre riferite al tempo. Esso è in grado di trasmettere un segnale d'allarme, quando i valori delle grandezze prese in riferimento superano o sono inferiori ad una soglia prefissata.

I sistemi di rivelazione più utilizzati sono i seguenti:

- **rivelatori di fumo**, che possono essere utilizzati sempre, purché si formino degli aerosol visibili all'atto dell'insorgere dell'incendio. Sono costituiti da una sorgente luminosa e da un fotodiodo che ne assorbe l'energia posizionato in maniera opposta nel locale da proteggere. Non appena appare un fumo di densità sufficiente, il fotodiodo risulta schermato ed attiva l'allarme,
- **rivelatori a ionizzazione**, che reagiscono a tutti i tipi di aerosol ed offrono lo spettro più ampio di applicazione. L'ambiente da proteggere è messo in stato ionizzato da un campo elettrico composto da un banco di elettrodi. In condizioni normali la circolazione di corrente è bassa, ma, in presenza di fumo, quindi di particelle liquide o solide, essa si intensifica molto, facendo scattare l'allarme,
- **rivelatori ottici**, ad assorbimento di raggi infrarossi da parte dei prodotti della combustione, od ultravioletti a rilevazione mediante fotodiodo delle emissioni luminose della fiamma. I rivelatori ad assorbimento di infrarossi reagiscono ad una concentrazione anche molto bassa di prodotti della combustione, mentre quelli ad emissione di ultravioletti possono individuare fiamme anche molto piccole,
- **rivelatori termici**, che sono sonde che rilevano l'incendio qualora venga superata una temperatura stabilita a priori. Normalmente si tratta di sensori bimetallici, i quali funzionano a temperatura assoluta o differenziale, come indicato nello schema. In caso di incendio, all'aumentare della temperatura, il bimetallo si inflet-

te a causa del diverso coefficiente di dilatazione dei due componenti di cui è costituito, aprendo il contatto ed azionando il sistema di allarme. Raddoppiando il sensore ed isolandone uno, è possibile tener conto della velocità di riscaldamento ed evitare falsi allarmi, dovuti alle lente variazioni di temperatura, come mostrato nella parte bassa dello schema,



- **rivelatori pneumatici**, che sono basati sul principio della fusione, oppure su quello dell'aumento di pressione. In quelli **a fusione**, una rete di condotte viene mantenuta sempre sotto pressione d'aria e, lungo la rete, si trovano installati rilevatori di quarzo, che sono dotati di una cartuccia a basso punto di fusione. In caso di incendio, la perdita d'aria, ed il conseguente abbassamento della pressione determinati dalla fusione delle cartucce fa scattare l'allarme. Invece, i **rilevatore a pressione** sono costituiti da piccoli serbatoi d'aria a parete sottile, con un pistoncino che aziona un relais di allarme, in caso di aumento della pressione dell'aria conseguente all'incendio.

Come indicato in fig. 3.72, l'**impianto di rivelazione** è l'insieme di apparecchiature fisse utilizzate per rivelare e segnalare tempestivamente il principio d'incendio. Gli elementi principali che costituiscono l'impianto sono:

- i *rilevatori*,
- la *centralina di controllo e di segnalazione*, che è l'apparecchiatura dalla quale gli altri componenti dell'impianto vengono alimentati elettricamente e, solitamente, è collegata ad una sorgente di corrente ausiliaria (di solito una batteria a tampone, che può garantire l'adeguato funzionamento anche in caso di black out). Inoltre, la centralina consente di avere una situazione globale del funzionamento dell'impianto di rilevazione dal check panel (sinottico), tramite *led* che indicano se i rilevatori sono alimentati, se l'impianto è operativo, se ci sono interruzioni o malfunzionamenti dei circuiti. La separazione delle aree e dei rilevatori consente di intervenire con precisione individuando, col sistema computerizzato, il luogo di intervento,
- i *dispositivi di allarme* (ottici e sonori). Sono strettamente correlati alla progettazione e gestione dell'impianto automatico, e determinano il **piano di intervento** conseguente all'allarme. Infatti, tale piano tiene conto delle caratteristiche delle attività, dell'insediamento, delle modalità di intervento, della scelta del sistema di estinzione e del grado di automazione desiderato. Così, in conseguenza dell'allarme, tramite un sistema interno all'area, oppure con trasmissione a distanza, si potrà operare un **intervento manuale** utilizzando:
 - i comandi di attivazione del sistema,

3. SERVIZI AZIENDALI

- gli elementi di connessione,
 - gli estintori,
 - gli idranti,
 - la squadra antincendio aziendale,
- oppure un **intervento automatico** tramite:

- la movimentazione di elementi di compartimentazione,
- l'aerazione e l'evacuazione dei fumi (secondo le norme UNI 9494),
- l'azionamento di impianti a spegnimento automatico,
- l'azionamento di impianti ad inertizzazione.

In entrambi i casi, è molto importante anche l'adeguata strutturazione di un **piano di evacuazione** di emergenza, ai sensi del D.P.R. 547/55 e del D.Lgs. 626/94 integrato e modificato con il D.Lgs. 242/96 e del D.M. 10.03.98.

La norma di riferimento è la UNI 9795, *Sistemi fissi automatici di rivelazione e di segnalazione manuale di incendio*. Per i sistemi non trattati, si fa riferimento ai criteri di installazione dei costruttori, alla norma NFPA 72, *National Fire Alarm Code* e ad altre normative di buona tecnica. Inoltre, i bravi tecnici danno altre indicazioni utili:

- prevedere l'effetto delle segnalazioni di allarme in modo da evitare, per quanto possibile, situazioni di panico o reazioni non commisurate all'effettivo rischio (per es. sfollamento di un intero edificio a fronte di un incendio modesto);
- concepire il sistema di rivelazione in modo da limitare il rischio di falsi allarmi, soprattutto quando il sistema aziona impianti di spegnimento od è collegato ad altre funzioni;
- tenere presente il rischio di falsi allarmi in occasioni di operazioni non contemplate nell'attività normalmente svolta nell'area tenuta sotto controllo (ad es. l'esecuzione di saldature in un magazzino);
- inviare le segnalazioni di allarme in luoghi dai quali sia possibile prendere tempestivamente provvedimenti ed avviare il piano di intervento nei tempi previsti;
- verificare periodicamente che il piano di intervento possa essere attuato con il desiderato grado di affidabilità;
- verificare periodicamente, oltre alla funzionalità, la congruità del sistema con le strutture protette.

Come sempre, l'utilizzatore è responsabile del mantenimento delle condizioni di efficienza del sistema, che restano affidate alla sua responsabilità, e pertanto deve provvedere alla registrazione su un apposito registro dei seguenti dati:

- i lavori svolti sul sistema o sull'area sorvegliata, qualora possano influire sul sistema stesso (es. modifiche all'impianto elettrico);
- le prove di funzionamento eseguite;
- i guasti riscontrati e le relative cause;
- gli interventi in caso di incendio con ogni utile precisazione per valutare l'efficienza dell'impianto.

Inoltre, poiché l'impianto deve essere sottoposto **ogni 6 mesi**, ad un'ispezione atta a verificarne lo stato di efficienza, l'accertamento deve essere annotato sul registro ed eventualmente corredato dal certificato di ispezione, evidenziando in particolare:

- le eventuali variazioni riscontrate, sia nel sistema, sia nell'area sorvegliata, rispetto alla situazione della verifica precedente;
- le eventuali deficienze riscontrate nel sistema.

Come indicato in fig. 3.72, i dispositivi di rilevazione possono essere collegati direttamente a sistemi di estinzione fissi, creando così degli impianti di spegnimento automatico, oppure possono dare semplicemente la localizzazione dell'avvenuto

matico, oppure possono dare semplicemente la localizzazione dell'avvenuto incendio per permettere agli incaricati di provvedere allo spegnimento dello stesso.

3.5.5.4.2. Gli Estintori

Il più comune ed efficace strumento di protezione attiva è l'**estintore**. Si tratta di contenitori di varie misure, generalmente cilindrici, capaci di contenere una sostanza estinguente pressurizzata o da pressurizzare, che fuoriesce azionando un apposito comando. Alcuni modelli sono ad attivazione automatica con dispositivi sensibili alle variazioni positive di temperatura, e di solito vengono utilizzati in ambienti isolati dove permane rischio di incendio.

Gli estintori devono essere utilizzati per *principi di incendio*, cioè per piccoli focolai che, se colti sul nascere, sono facili da spegnere. Tutti gli estintori, devono essere completamente di colore rosso, fatta eccezione per il CO₂ che deve avere l'ogiva (parte superiore dell'estintore) colorata di grigio per permetterne la distinzione, come si è visto in fig. 3.64. Essi vengono classificati in base al materiale estinguente contenuto, ed al loro peso complessivo. Queste informazioni sono presenti sull'etichetta dell'estintore. Sull'etichetta sono riportate anche la classe e la dimensione dell'incendio che è in grado di spegnere. Ad esempio, sull'etichetta potremmo trovare le cifre 13a od 89bc, dove i numeri rappresentano la capacità estinguente (all'aumentare del numero corrisponde una maggiore capacità estinguente). Le lettere indicano la classe di incendio.

Gli estintori si suddividono in due categorie:

Portatili non superano la massa di 20 kg, come quelli di fig. 3.76,

Carrellati gli estintori con massa superiore a 20 kg e fino a 300 kg si intendono *non portatili* ed il più delle volte la loro movimentazione avviene per mezzo di carrelli.



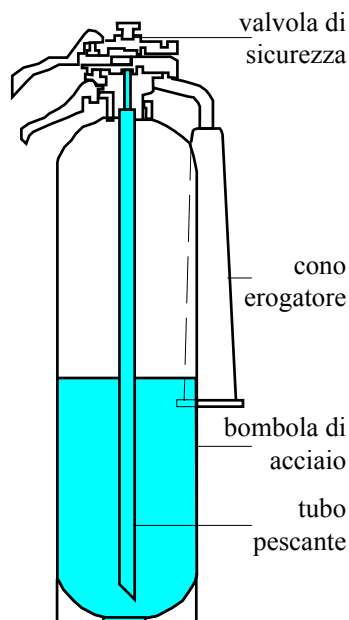
fig. 3.73. Tipi di estintori portatili. A destra, il particolare del manometro.

In fig. 3.73 è riportato il particolare del manometro a corredo dell'estintore, che ne permette il controllo della pressione interna. È importante un controllo visivo periodico, in quanto l'estintore può, per varie cause, depressurizzarsi ed essere inutilizzabile. Per essere efficiente la lancetta deve essere situata nel campo verde.

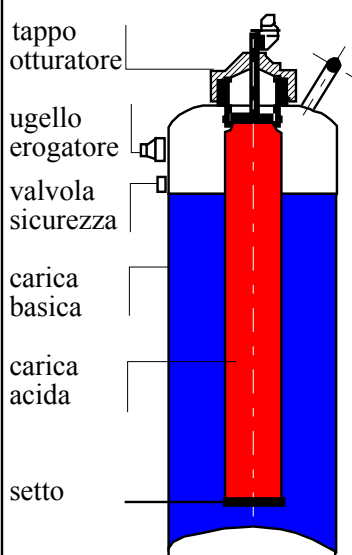
In base alla sostanza estinguente utilizzata, ne esistono di vario tipo:

Estintori a CO₂: si tratta di bombole non completamente piene di liquido, pressurizzate a 70-80bar contenenti Anidride Carbonica liquefatta (a 20C, la CO₂ è in forma gassosa ed ha una tensione di vapore di 58bar). Per ogni litro di CO₂ liquida vengono prodotti più di 500 litri di CO₂ vapore ad una temperatura di -78C. Questi estintori sono costosi e sensibili alla temperatura ambiente. La CO₂ agisce per soffocamento e raffreddamento, quindi poco efficace all'esterno.

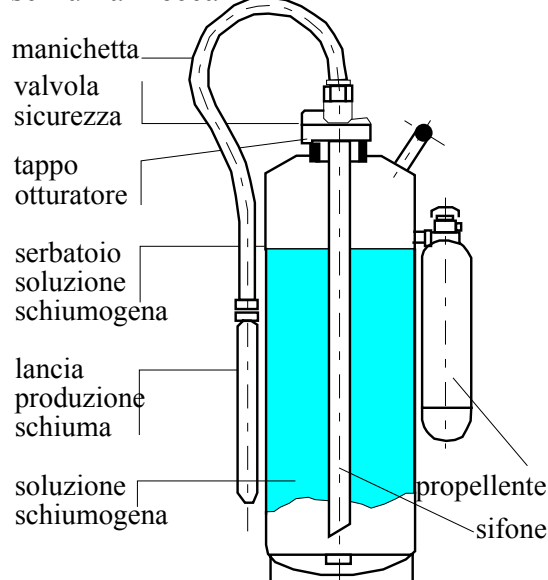
estintore a CO₂

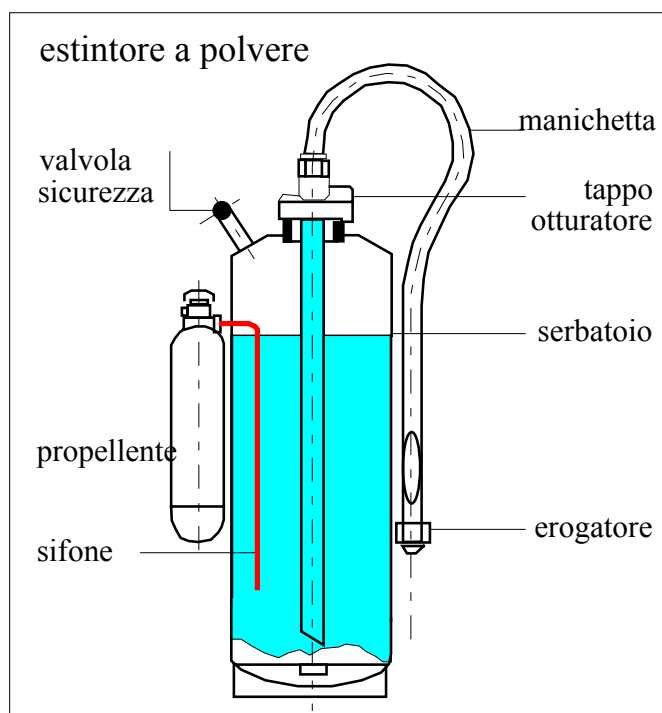


schiuma chimica



schiuma meccanica





Estintori a Schiuma:

Chimica, che si basano sulla reazione base + acido = schiuma. All'interno dell'estintore è presente un contenitore con l'acido ed, all'esterno di questo, è contenuto Solfato di Alluminio. Al momento dell'uso, occorre dare un colpo a terra con la bombola rovesciata così da rompere il diaframma che mantiene divisi i due componenti chimici. La bombola non è pressurizzata,

Meccanica, che contengono CO₂ quale propellente del liquido schiumogeno (ad esempio acqua e sapone) contenuto nell'estintore.

Estintori a Polvere: si tratta di bombole pressurizzate contenenti azoto e polveri di vario tipo (secondo la classe di fuoco cui sono destinati).

Estintori agli Idrocarburi Idrogenati. Ognuna di queste sostanze presenta delle peculiarità che bisogna conoscere per produrre un'efficace azione antincendio, si rimanda pertanto all'apposito paragrafo sugli estinguenti.

Per un efficace utilizzo degli estintori occorre anche conoscere il tempo di scarica di ogni bombola. Tale tempo varia in base all'estinguente contenuto e al peso della bombola, come indicato in tab. 3.XXXVI. Il contenuto è espresso in litri per gli estinguenti acquosi, ed in kg per gli altri.

tab. 3.XXXVI. Caratteristiche degli estintori

tipo di estintore	quantità [kg]	tempo di scarica minimo [s]	gittata [m]
acqua	10 litri	60	8
schiuma	10	60	10
CO ₂	9	27	3
polvere	3, 6, 10, oltre 10	6, 9, 12, fino a 15	5/6
Halon	5/9	9	6

Poche fondamentali regole sono alla base di un corretto uso dell'estintore. La prima regola è di familiarizzare con l'apparecchio. Infatti, quando non si conosce il funzionamento dell'estintore, o si evita di usarlo o lo si usa in maniera inefficace, se non addirittura controproducente. Si legge, si interpreta e si memorizza l'etichetta che avvolge l'estintore. Vi sono specificate graficamente le classi di fuoco su cui è possibile utilizzare l'estinguente, nonché le istruzioni per l'uso, più una serie di raccomandazioni o precisazioni. Ovviamente questa *lettura* va fatta in precedenza, magari chiedendo spiegazioni al Responsabile della Sicurezza o ad altro esperto:

- la sostanza estinguente va sempre indirizzata alla base delle fiamme, onde evitare la propagazione del fuoco prima di estinguerlo,
- in caso di incendio in presenza di vento, portarsi sopra vento, rispetto al fuoco,
- non dirigere mai il getto contro le persone,
- non avvicinarsi a recipienti aperti, contenenti liquidi infiammabili ed evitare il loro rovesciamento,
- per quanto possibile, usare indumenti e mezzi personali di protezione,
- porsi in posizione tale da non avere la visibilità e la respirazione ostacolate dal fumo,

Quando si utilizza un estintore a polvere in un ambiente chiuso, si crea una *nube* di polvere che, per moto turbolento o per altre ragioni, potrebbe investire, seppur marginalmente l'operatore, che socchiuderà gli occhi, tratterrà il respiro per i pochi secondi di completo scarico dell'estintore e lascerà il locale. Da queste considerazioni risulta logico che converrà disporsi col vento alle spalle quando si opera all'aperto, a prescindere dal tipo di estinguente che si sta usando. Se più persone operano con estintori, sarà necessario evitare la **contrapposizione dei getti**. Questa raccomandazione escluderà la possibilità di colpirsi vicendevolmente con l'estinguente o di essere investiti dai prodotti della combustione, braci o ceneri, sbalzati via dal getto dell'estintore. Se dovessero andare a fuoco gli abiti, non bisogna utilizzare l'estintore. Avvolgersi in una coperta e rotolarsi sul pavimento è l'azione più efficace. Un primo intervento in caso di incendio non esime dal richiedere il pronto intervento dei Vigili del Fuoco componendo il 115 (chiamata gratuita).

Come è noto, ***utilizzando estintori ad Anidride Carbonica è bene evitare il contatto con il gas erogato che, freddissimo, potrebbe cagionare ustioni da freddo.*** Per lo stesso motivo dobbiamo valutare la possibilità che il materiale irrorato con CO₂ possa subire uno shock termico notevole. Su apparecchiature costose (computer, centraline elettroniche, monitor) il dato ha rilevanza. Su incendi estesi il problema non sussiste.

Ricordare le limitazioni imposte dall'utilizzo dell'acqua o della schiuma in presenza di corrente elettrica.

Perché l'estintore possa mantenere la sua efficacia nel principio di incendio o nel trarci d'impaccio in situazioni in cui sussiste la necessità di aprirci una via di fuga, una buona manutenzione è determinante. Oltre ai controlli scadenziati che sono effettuati direttamente dall'utente, la manutenzione deve essere affidata a personale qualificato.

I cartellini normalmente a corredo degli estintori segnalano la data dell'ultimo intervento di manutenzione. Comunque, risulta opportuno che sul talloncino di manutenzione sia indicato il tipo di intervento effettuato, al fine di pianificare quello successivo che potrebbe essere di revisione, collaudo, ricarica od altro.

In linea generale un estintore è soggetto ad operazioni che richiedono l'intervento di ditte specializzate:

manutenzione ogni 6 mesi

<i>revisione</i>	ogni anno
<i>ricarica</i>	ogni 3 anni (a polvere)
<i>collaudo</i>	ogni 5 anni della bombola di acciaio.

Gli estintori vanno ricaricati anche se sono stati utilizzati solo parzialmente. Il Responsabile della Sicurezza deve eseguire *settimanalmente* la seguente serie di verifiche:

- integrità del sigillo posto tra lo spinotto di sicurezza e l'apparecchio;
- integrità della manichetta;
- posizione della lancetta del manometro nell'arco verde (per gli estintori pressurizzati).

Il numero degli estintori da installare è determinato da disposizioni di legge solo in alcuni casi (alberghi, autorimesse, ecc.). Negli altri casi si deve eseguire il criterio di disporre questi mezzi di primo intervento in modo che siano prontamente disponibili ed utilizzabili. Si può ritenere che sia sufficiente disporre di un numero di estintori in modo che almeno uno di questi possa essere raggiunto con un percorso non superiore a 15 m circa. Ne consegue che *la distanza tra i gruppi di estintori deve essere di circa 30m*.

Gli estintori devono essere sempre posti nella massima evidenza, in modo da essere individuati immediatamente, preferibilmente vicino alle scale od agli accessi. Inoltre, estintori di tipo idoneo saranno posti in vicinanza di rischi speciali (quadri elettrici, cucine, impianti per la produzione di calore a combustibile solido, liquido o gassoso ecc.). Gli estintori potranno essere poggiati a terra o sospesi alle pareti, mediante idonei attacchi che ne consentano il facile sganciamento. Se l'estintore non può essere posto in posizione ben visibile da ogni punto della zona interessata, dovranno porsi dei cartelli di segnalazione (se necessario a bandiera), del tipo conforme alle norme della segnaletica di sicurezza.

3.5.5.4.3. Mezzi di Estinzione Fissi ad Acqua, con Idranti

A protezione delle attività industriali o civili, caratterizzate da rischio rilevante, viene di norma installata una rete antincendio. Naturalmente, gli impianti fissi impiegano le sostanze estinguenti considerate in precedenza. Quindi, si hanno impianti ad acqua, a CO₂, a polveri, a schiuma (meccanica) ed a composti alogenati.

Tuttavia, gli impianti fissi più diffusi sono quelli ad acqua, che è caratterizzata da elevato calore specifico e densità e che, nel passaggio di fase liquido-vapore, ha la duplice funzione di raffreddamento e di soffocamento, grazie all'allontanamento dalla zona di combustione dell'O₂. Inoltre, è particolarmente efficace per mantenere a bassa temperatura le strutture esposte all'irraggiamento dell'incendio, per la possibilità di essere pompata ad elevata pressione ed essere lanciata a grande distanza. Nel caso dell'impianto fisso collegato ad una rete idrica pubblica insufficiente, le caratteristiche idrauliche richieste agli **erogatori** (idranti UNI 45 oppure UNI 70) vengono assicurate in termini di portata e pressione dalla capacità della riserva idrica e dal gruppo di pompaggio.

L'alimentazione della rete degli idranti può essere costituita dai seguenti sistemi:

- rete di un *acquedotto*, purché in grado di fornire la portata d'acqua necessaria, alla pressione voluta. Essa può essere collegata direttamente, od a partire da una vasca di disgiunzione, all'acquedotto pubblico. La presenza della vasca di disgiunzione

è necessaria ogni qualvolta l'acquedotto non garantisca continuità di erogazione e sufficiente pressione;

- un serbatoio *sopraelevato*. Se questo è ad uso promiscuo è opportuno predisporre le tubazioni di prelievo dell'acqua in modo che ne sia sempre assicurata una certa quantità per esclusivo uso antincendio, come visto in §3.2.1,
- serbatoi *interrati con gruppi pompa*, del tipo di §3.2.2. L'impianto di pompaggio dell'acqua antincendio deve essere sempre costituito da due gruppi in parallelo, con due diversi tipi di alimentazione.

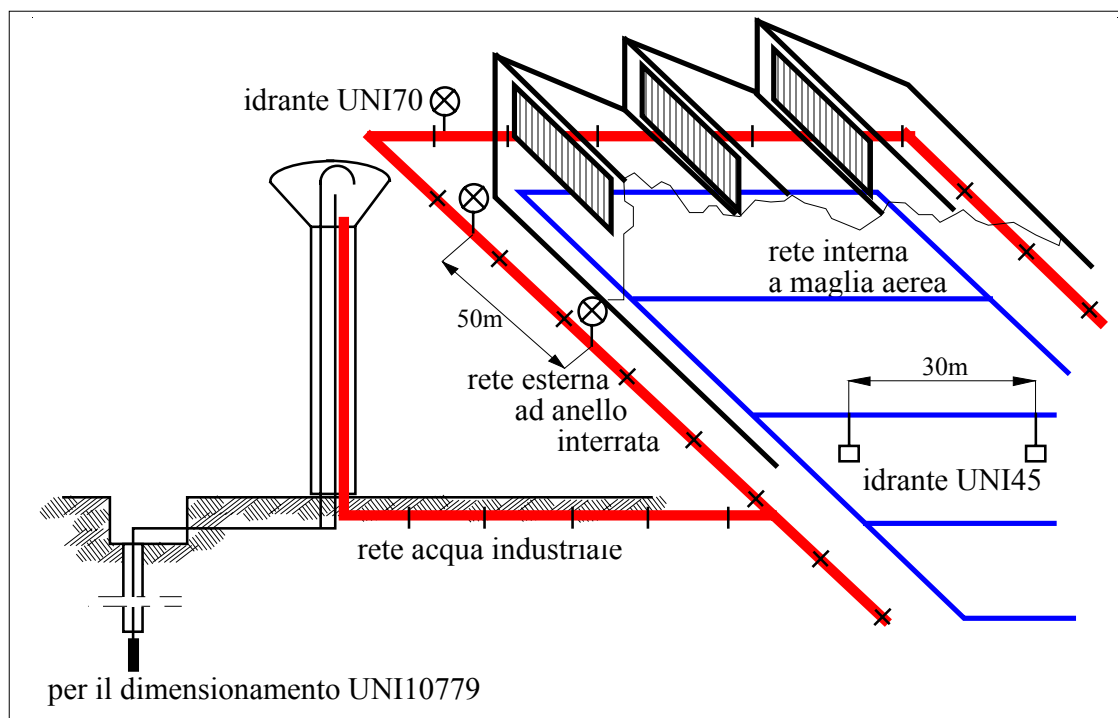


fig. 3.74. Schema di un tipico impianto antincendio ad idranti.

L'alimentazione da fiumi, laghetti, stagni eccetera può essere adottata di solito solo come sussidiaria, mediante l'impiego di mezzi ausiliari (motopompe e autopompe, in genere dei VV.F). Occorre comunque predisporre delle zone di accesso per gli automezzi e quant'altro necessario per potere eseguire rapidamente ed efficacemente il prelievo dell'acqua. Questo impianto viene anche definito *semifisso*, in quanto, pur avendo l'alimentazione fissa della rete idrica, per raggiungere il fuoco richiede l'impiego di attrezzature mobili, a partire dagli idranti, quali tubi flessibili e naspi muniti di lancia. Di conseguenza, questo impianto dà minori garanzie di tempestività dell'intervento, a causa della necessità di coprire il tempo di preparazione.

La rete idrica antincendi deve, a garanzia di affidabilità e funzionalità, rispettare i seguenti criteri progettuali:

- indipendenza della rete antincendio da altre utilizzazioni,
- dotazione di valvole di sezionamento,
- disponibilità di riserva idrica e di costanza di pressione,
- ridondanza del gruppo pompe,
- disposizione della rete ad anello,
- protezione della rete dall'azione del gelo e della corrosione.

Come si vede in fig. 3.74, per lo più si hanno due reti antincendio collegate ed installate all'esterno ed all'interno dello stabilimento servito. L'impianto descritto è quello generalmente impiegato negli stabilimenti dell'industria meccanica, dove il Carico di Incendio si trova concentrato nei magazzini delle materie prime e dei prodotti finiti (a causa della presenza degli imballaggi).

Inoltre, la rete degli idranti si differenzia dalle altre reti idriche in quanto non è destinata ad alimentare utenze continue alla portata di progetto. Infatti, l'erogazione è limitata alla durata dell'intervento sull'eventuale focolaio e risulta al massimo di 2h. Infine, per motivi probabilistici, in molti casi è da escludere che debbano essere messi in funzione contemporaneamente tutti gli idranti presenti, poiché il focolaio deve considerarsi limitato ad una zona più o meno estesa dell'edificio. Tuttavia, ciò comporta la necessità di avere una riserva sufficiente, ma anche che il dimensionamento delle condotte deve tener conto di un fattore di contemporaneità accuratamente scelto.

Così, il serbatoio di accumulo dovrebbe garantire almeno 2h di alimentazione della rete antincendio. La soluzione migliore è certamente quella di un serbatoio sopraelevato, perché in tal caso viene garantita in ogni caso l'alimentazione degli idranti. Ma il costo di tale soluzione è elevato e spesso si adottano serbatoi interrati, come già visto in §3.2.2.

Per quanto concerne il progetto della rete, è opportuno precisare in primo luogo che la portata d'acqua di un dato idrante risulta funzione della pressione e del diametro del bocchello. Dalle stesse variabili dipende anche la gittata orizzontale, come si vede in fig. 3.75. Quali diametri dei bocchelli, si scelgono i valori da 10 a 14 per gli UNI45 e da 16 a 20 per quelli UNI70. In tal modo, dai diagrammi di fig. 3.75, si vede che un idrante UNI45 con bocchello da 14 ed alimentato alla pressione di 4bar eroga una portata di 250 litri al minuto ed ha una gittata orizzontale di 32m.

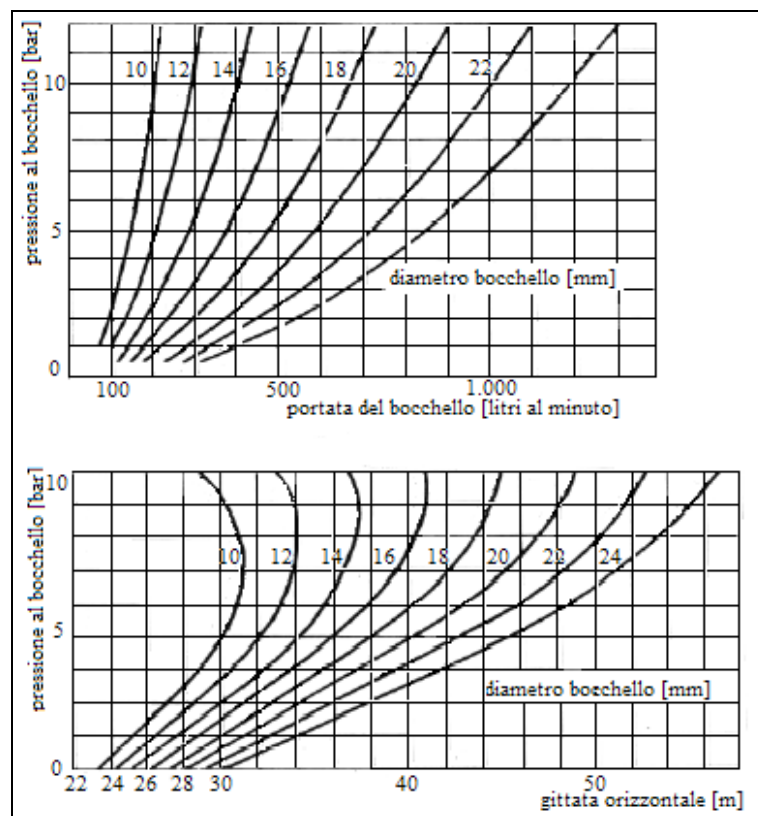


fig. 3.75. Abachi di portata e gittata degli idranti.

Per il calcolo del diametro delle condotte, i dati di progetto sono la portata e la pressione minima da garantire all'attacco dei singoli idranti, come detto, tenendo conto del grado di contemporaneità. La velocità dell'acqua viene assunta dell'ordine di $2\div 3\text{m/s}$.

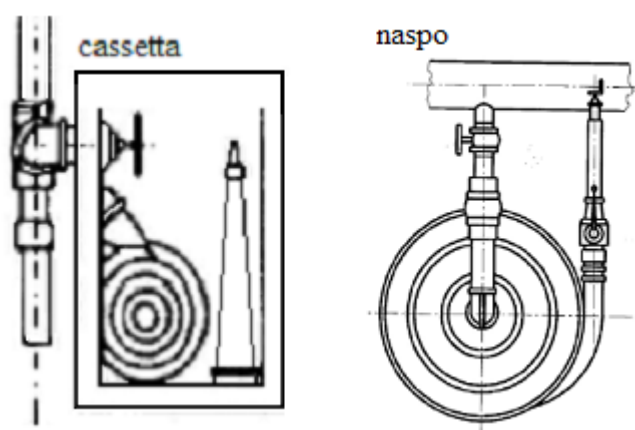
Le reti a maglie sono dimensionate in modo da assicurare il servizio dell'idrante o del gruppo di idranti più sfavoriti, cioè più lontani, anche nelle condizioni peggiori, cioè anche col fuori servizio di alcuni tronchi dell'anello. Ciò comporta il dimensionamento di tutto l'anello a diametro costante, che può avere un valore diverso solo in vicinanza dell'alimentazione.

La rete **esterna** è realizzata con una tubazione interrata ad anello, ad una distanza di almeno 10m dai fabbricati, ed alimenta idranti UNI70 a colonna (od interrati) disposti alla distanza reciproca di circa 50m.

La rete **interna** è normalmente a maglie di diametro minimo DN50 e gli idranti sono a cassetta UNI45, con tubo flessibile avvolto e collegato alla lancia. Gli idranti sono installati a parete, alla distanza reciproca di circa 30m, ed impiegano tubi flessibili da 20m. Per ovvi motivi gli idranti sono in prossimità degli accessi ai luoghi di lavoro.

Le caratteristiche idrauliche pressione - portata devono garantire il funzionamento contemporaneo di almeno 2 idranti UNI 45 con portata di 120 litri al minuto e pressione residua di almeno 2bar al bocchello. Comunque, gli idranti (a muro, a colonna, sotto-suolo o naspi) devono essere collegati con tubazioni flessibili a lance erogatrici che consentano, per numero ed ubicazione, la copertura protettiva dell'intera attività.

Gli **idranti** possono essere a muro, a colonna, sottosuolo, e la loro funzione può essere svolta anche da naspi (più piccoli) o da cannoni idrici (che possono essere UNI100 e più). Gli idranti a muro con tubazioni flessibili sono apparecchiature raccolte essenzialmente in una **cassetta** con valvola di collegamento alla rete, dotata di un supporto della tubazione flessibile lunga mediamente 20m completa di raccordi, una lancia erogatrice dotata di 3 posizioni (getto pieno, getto frazionato e getto chiuso) oppure da una lancia in rame ed ottone a getto fisso e da una sella. Nel loro funzionamento, gli idranti a muro forniscono un efficiente mezzo di estinzione incendi, erogando un getto d'acqua continuo e/o frazionato immediatamente disponibile. I requisiti tecnici degli idranti a muro con tubazioni flessibili, sono contenuti nella Norma EN 671-2.



Un breve cenno va dedicato alla rete antincendi costituita da **naspi** che rappresenta, per la possibilità di impiego anche da parte di personale non addestrato, una valida alternativa agli idranti, soprattutto per le attività a rischio leggero. Le reti idriche con naspi vengono di solito collegate alla normale rete sanitaria, dispongono di tubazioni di gomma avvolte su tamburi girevoli e sono provviste di lance UNI25, con getto regolabi-

le (pieno o frazionato) con portata di 50 litri/min ad 1,5 bar. I naspi sono composti da un gruppo fisso (valvola), da una tubazione semirigida lunga almeno 20 m, avvolta su un tamburo rotante, da una lancia a getto pieno o variabile, completa di valvola di intercettazione.

I **cannoni idrici** sono costituiti da un corpo dotato di lancia a getto pieno collegato rigidamente o tramite tubazione flessibile alla rete.

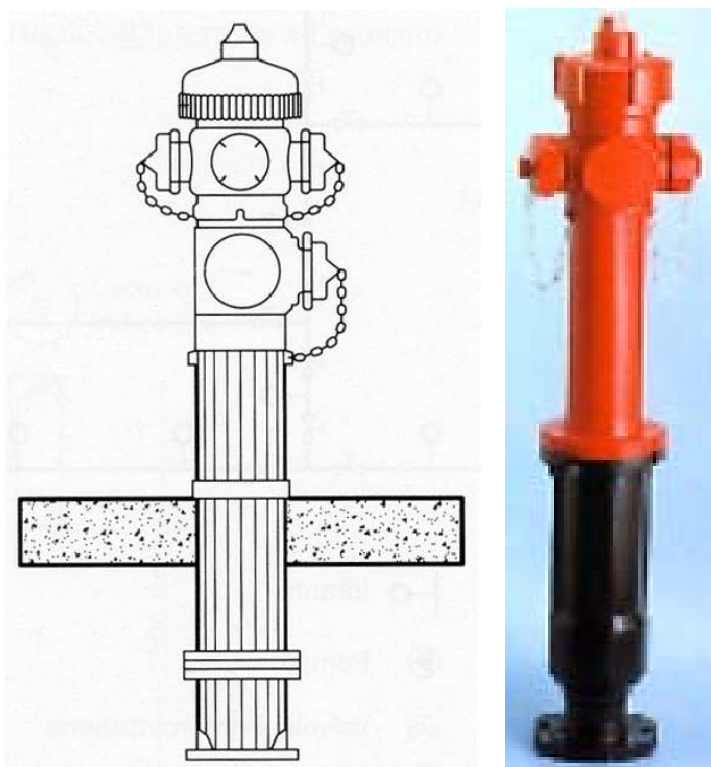


fig. 3.76. Idrante a colonna.

Le **manichette** generalmente utilizzate sono le UNI45 e le UNI70. Durante l'utilizzo di una manichetta occorre tenere presente le possibili perdite di carico distribuite. È anche per questo motivo che il raccordo fra 2 manichette viene effettuato generalmente mettendo a monte una UNI70 e a valle una UNI45. I raccordi utilizzati per unire due manichette o lancia e manichetta sono di tipo maschio/femmina. Questa particolarità deve essere tenuta ben presente quando si piega una manichetta. Innanzitutto si deve piegare il tubo a metà, facendo attenzione che il *raccordo maschio* sia nella parte superiore, poi si arrotola la manichetta partendo dalla piegatura verso i raccordi. La corretta esecuzione di questa manovra influisce in fase di operazioni antincendio. Infatti nel momento in cui la manichetta viene posta in uso, l'operatore lancerà la parte arrotolata in avanti trattenendo il raccordo inferiore (femmina), che verrà poi collegato all'autobotte o ad un'altra manichetta, mentre un altro operatore scatterà in avanti con l'estremità avente il raccordo maschio e la lancia. Se la manichetta non dovesse essere ben piegata, si potrebbe avere un rallentamento delle operazioni di emergenza.

Ove opportuna (per esempio in presenza di sostanze tossiche), per ridurre il **rischio di danni all'ambiente**, bisogna prevedere idonei sistemi di raccolta delle acque antincendio eventualmente inquinate, in opportune vasche di recupero.

La sorveglianza degli idranti consisterà nelle seguenti verifiche:

3. SERVIZI AZIENDALI

- esistenza dell'idrante;
- sussistenza delle condizioni di chiara individuazione e di rapida e sicura utilizzazione (assenza di ostacoli);
- assenza di visibili anomalie o manomissioni;
- regolarità di segnalazione degli indicatori dei parametri sotto controllo (gruppo pompe);
- esistenza dei rubinetti ed assenza di manomissioni;
- presenza delle lance e del collegamento alla tubazione flessibile;
- presenza della lastra safe-crash sulla cassetta;
- presenza del cartello indicatore sopra l'idrante conforme al D.Lgs. 493/96;
- presenza del cartellino di manutenzione e corretta compilazione dello stesso.

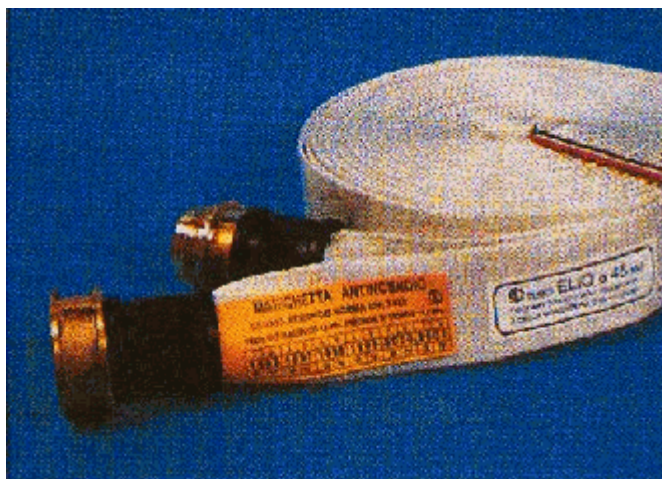


fig. 3.77. Manichetta.

La periodicità della **sorveglianza** avrà una cadenza mensile e verrà effettuata dal Responsabile del Servizio di Sicurezza o da un suo incaricato. L'art. 34 del D.P.R. 547/55 prevede che debba essere effettuata una **manutenzione** dei sistemi fissi e delle apparecchiature portatili antincendio ad intervalli di 6 mesi, da parte di personale qualificato, allo scopo di assicurare l'efficienza dell'impianto e lo stato di manutenzione dei suoi componenti. Il controllo consisterà, oltre ai punti della sorveglianza sopra descritti:

- ogni primo semestre nella verifica completa di ogni idrante in tutte le sue parti e nella pulizia del complesso idrante, con timbratura del cartellino di manutenzione,
- ogni secondo semestre, nella verifica delle caratteristiche idrauliche dell'impianto, mediante la messa in esercizio dello stesso, il controllo di tenuta dell'idrante e della pressione di rete. Allo scopo, si utilizzano praticamente gli idranti, e si esegue la prova a pressione delle manichette. Nel caso sia impossibile provare l'impianto idrico (ad esempio quando è collegato alla rete pubblica e quindi è dotato di sigilli), occorre effettuare le prove di tenuta della manichette mediante la loro messa in pressione d'aria.

3.5.5.4.4. Mezzi di Estinzione Fissi ad Acqua, a Pioggia

L'impianto di **estinzione automatica a pioggia** (o ad acqua frazionata) è costituito da un complesso di estintori automatici, detti anche **sprinkler**, le relative condutture di alimentazione e le valvole di controllo. L'impianto è alimentato da più fonti di alimen-

tazione idrica di adeguata portata ed autonomia. Esso comprende sempre un dispositivo di prova ed una campana di allarme.

Gli sprinkler effettuano una suddivisione abbastanza spinta dell'acqua, esaltando così gli effetti di raffreddamento e soffocamento sul focolaio di incendio. A seconda del livello di suddivisione si distinguono in impianti *a pioggia* e *nebulizzatori*.

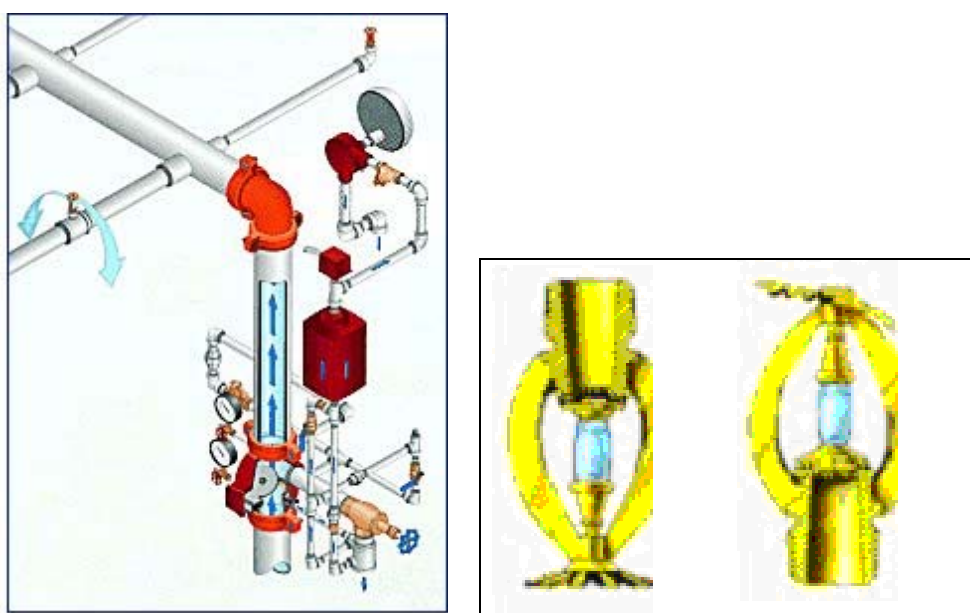
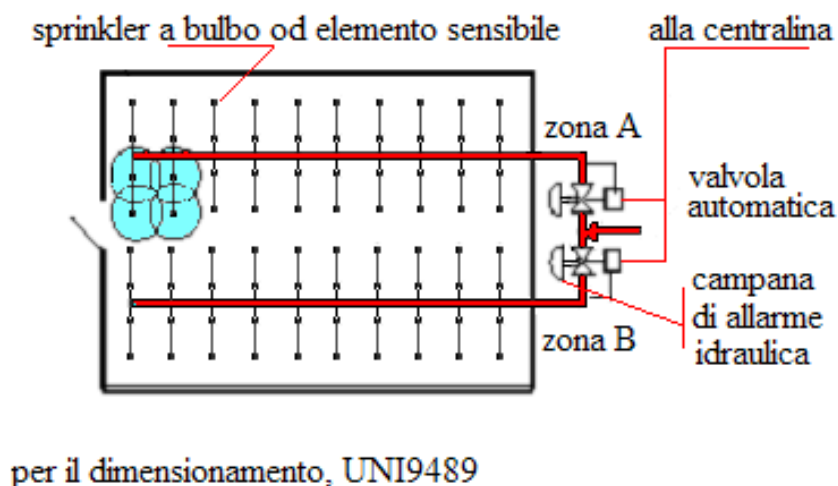


fig. 3.78. Schema di un tipico impianto antincendio a pioggia e particolare del comando. In basso a destra, due esempi di teste sprinkler (a scarica superiore ed inferiore), comandate dallo scoppio di ampole di quarzo riempite di liquido, che si dilata all'aumentare della temperatura.

Come mostrato molto schematicamente in fig. 3.78, il sistema **a pioggia** è costituito da una rete di tubazioni posate a soffitto nel locale da proteggere, munita di teste sprinkler. Le condotte sono allacciate permanentemente alla rete antincendio, alimentata da un serbatoio ed in essa la pressione è mantenuta ad almeno 2bar. Le teste sprinkler sono composte da ugelli asserviti a valvole di testa, tenute chiuse mediante una piastrina metallica bassofondente ad una temperatura prefissata. Quando nella zona protetta dall'impianto si verifica un incendio, l'aumento di temperatura provoca la fusione della piastrina-

na e l'apertura della testa: l'acqua inonda l'area sottostante, spargendosi secondo un profilo all'incirca conico. Ogni sprinkler può proteggere un'area di $7\div 12\text{m}^2$ e generalmente l'apertura della valvola aziona il dispositivo di allarme. C'è la possibilità di avere la fuoriuscita dell'acqua:

- diretta, se l'impianto è del tipo a tubo bagnato, cioè tutto l'impianto è permanentemente riempito di acqua in pressione,
- dopo che è uscita l'aria dalle tubazioni, se si tratta di impianto a tubo asciutto (impianto che viene realizzato quando c'è pericolo di gelo). In questo caso l'impianto è riempito di aria in pressione, ed, al momento dell'intervento, una valvola provvede al riempimento delle tubazioni con acqua.

Esistono anche schemi alternativi, che funzionano come impianti a secco nei mesi freddi e ad umido nei mesi caldi. Inoltre:

- a **pre-allarme**, se sono dotati di un dispositivo che differisce la scarica per dar modo di escludere i falsi allarmi,
- a **diluvio**, se sono impianti con sprinkler sempre aperti e sono alimentati da valvole ad apertura rapida, in grado di fornire rapidamente grosse portate.

Esistono norme molto precise e dettagliate del Concordato Italiano Incendi per l'installazione e la costruzione degli impianti di estinzione automatica a pioggia. L'impianto viene quindi progettato in modo che, in relazione al rischio, la quantità d'acqua che esce dalle teste sprinkler che si aprono sia opportunamente distribuita e sia sufficiente a spegnere, o quanto meno a tenere sotto controllo, l'incendio. Se eseguito e mantenuto in efficienza con i criteri indicati dalle norme, in genere l'impianto presenta una buona affidabilità.

3.5.5.4.5. Mezzi di Estinzione a Schiuma Meccanica

Abbiamo accennato alla schiuma, quale mezzo per l'estinzione degli incendi di liquidi infiammabili. Presso alcune attività industriali con presenza di sensibili quantitativi di liquidi infiammabili può essere necessario disporre di mezzi per la produzione della schiuma con continuità ed abbondanza. A tal fine occorre che l'acqua necessaria alla formazione della schiuma sia alla pressione di almeno 7bar, presente direttamente in rete, oppure ottenuta con l'impiego di una motopompa.

Gli impianti a schiuma fissi sono costituiti dalle sezioni di rilevazione d'incendio, comando manuale od automatico di avviamento, preparazione, distribuzione, erogazione, come rappresentato in fig. 3.79.

Durante la fase di *preparazione*, è necessario sciogliere la sostanza schiumogena in acqua e successivamente emulsionare la soluzione in aria, per la formazione delle bolle. La soluzione può essere eseguita in vari modi, tra i quali quello più impiegato è per iniezione del liquido schiumogeno con premiscelatori a spostamento di liquido. L'operazione ha luogo con un proporzionatore d'acqua e schiumogeno di tipo venturimetrico. I serbatoi risultano suddivisi mediante una membrana mobile in due parti distinte che contengono, l'una lo schiumogeno e l'altra l'acqua. Di conseguenza, è la stessa acqua di rete a fornire l'energia necessaria alla miscelazione. La seconda fase di preparazione, cioè l'emulsione con aria, è ottenuta direttamente nella lancia di schiuma.

Come detto, gli impianti fissi si distinguono, in funzione del rapporto tra la miscela concentrata di acqua e liquido schiumogeno e quella della schiuma prodotta, nei 3 tipi:

- a **bassa espansione**, con rapporto $1/6\div 1/15$,

a media espansione, con rapporto $1/30 \div 1/200$,
ad alta espansione, con rapporto $1/500 \div 1/1.000$.

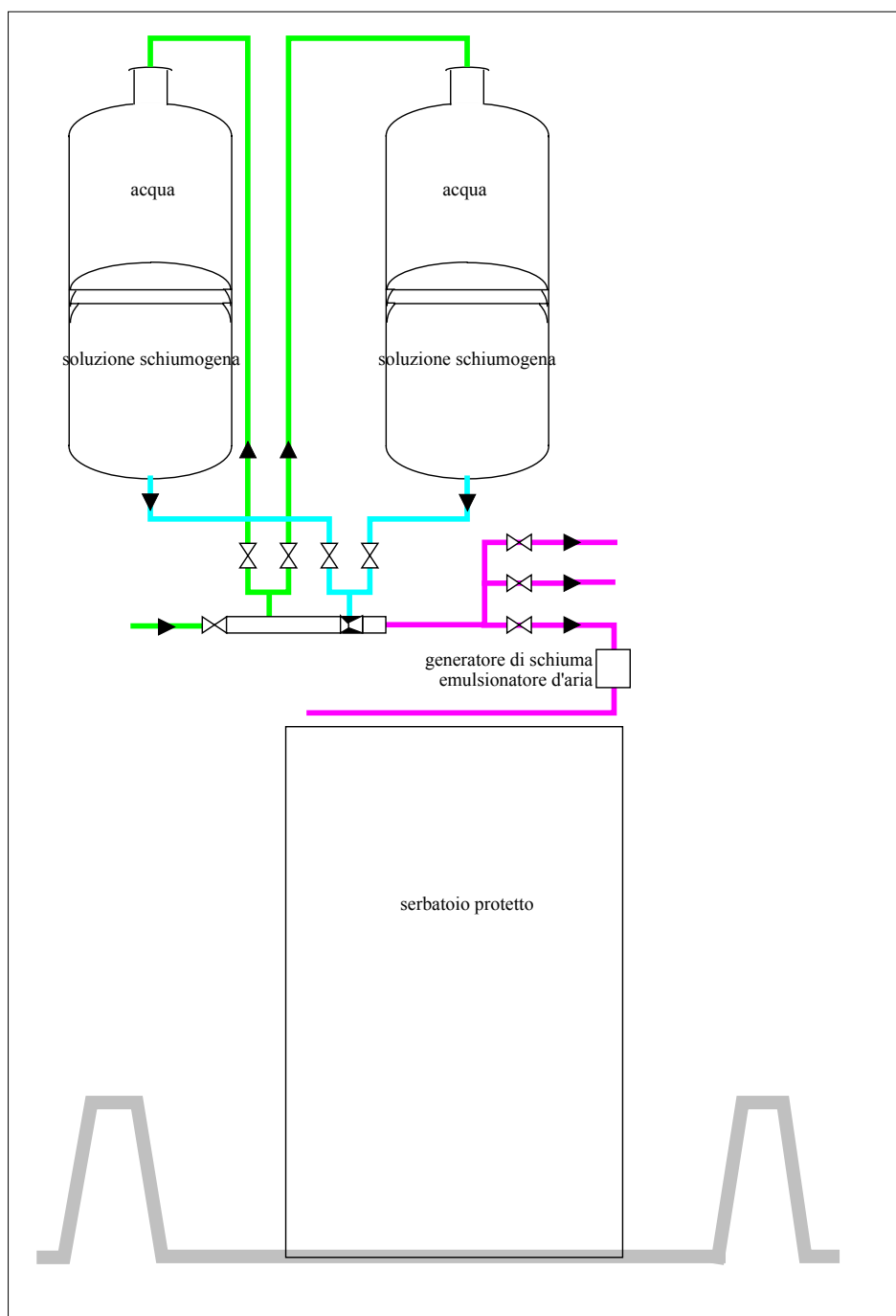


fig. 3.79. Schema dell'impianto fisso di preparazione della miscela schiumogena, a protezione di un serbatoio di stoccaggio di infiammabili.

Gli impianti a schiuma a bassa e media espansione utilizzano un agente in grado di esplicare un'azione superficiale in grado di ricoprire ed isolare dal contatto con l'aria i materiali incendiati, e quindi sono adatti per la protezione di raffinerie, impianti di produzione chimica, purché non critici alla presenza di acqua, depositi e processi di lavorazione di liquidi infiammabili, serbatoi di stoccaggio, ecc. Inoltre, si deve ricordare che la gittata delle schiume dipende dalla loro densità, quindi particolarmente bassa per le

schiume ad alta espansione, i cui erogatori devono essere piazzati vicini alle aree di protezione. Anche per questo motivo, le schiume ad alta espansione sono meno usate.

In un impianto **mobile**, mediante una tubazione flessibile l'acqua viene portata in prossimità della zona d'impiego, dove viene installato nella tubazione il *premiscelatore di linea*, che aspira il liquido schiumogeno da un vicino recipiente e lo immette nella tubazione. La soluzione schiumogena così ottenuta scorre nella tubazione flessibile ed, all'estremità di questa, passa attraverso la lancia schiumogena che aspira l'aria dell'ambiente e provvede alla formazione ed al lancio della schiuma.

Il dimensionamento dell'impianto ed il calcolo del liquido schiumogeno necessario devono essere fatti in base alla necessità di formare uno strato di almeno 10cm di schiuma su tutta la zona da proteggere, in un tempo molto breve (circa 10 minuti). I dati caratteristici dei materiali (lancia e liquido schiumogeno) vanno chiesti ai fornitori. In prima approssimazione, si può dire che il liquido schiumogeno viene immesso nell'acqua nella proporzione del 5%, e che da ogni litro di soluzione si possono avere da 5 a 7 litri di schiuma (con rapporto di espansione $5 \div 7$).

3.5.5.4.6. **Impianti Automatici ad Anidride Carbonica**

Gli impianti fissi a CO₂, dato il notevole costo, vengono impiegati in genere solamente quando non possono essere impiegati quelli ad acqua, dove si hanno forti rischi e quando viene richiesto un estinguente che non produca danni, come nel caso di depositi e reparti di utilizzo o produzione di vernici, forni di essiccazione, ecc. e ci sia l'esigenza di riprendere l'attività nel minor tempo possibile. Non esiste una specifica normativa di riferimento nazionale e per il dimensionamento ci si può riferire alle norme NFPA. Come si vede nello schema di fig. 3.80, l'impianto consiste di una batteria di bombole di CO₂, o di un serbatoio refrigerato, contenenti CO₂ sotto pressione ed allo stato liquido, collegati mediante una rete di tubazioni e valvole di smistamento agli erogatori nel locale da proteggere. Il comando dell'impianto è generalmente automatico, a partire da un sistema di rivelatori.

Gli impianti possono essere a saturazione locale, totale, oppure a scarica lenta. Inoltre:

- **ad alta pressione**, nei quali la CO₂ è contenuta in bombole allo stato liquido, a temperatura ambiente e ad una pressione fino a 70bar, e che sono utilizzati per installazioni di limitate dimensioni,
- **a bassa pressione**, nei quali la CO₂ è contenuta, allo stato liquido in serbatoi refrigeranti con una pressione di 20bar e -20C e che vengono usati quando i quantitativi di CO₂ necessari sono rilevanti.

Le concentrazioni di CO₂ necessarie per lo spegnimento generalmente non permettono la sopravvivenza delle persone, per cui l'installazione di questi impianti in locali con presenza di persone impone l'adozione di adeguate procedure di sfollamento. Come minimo, prima della scarica di CO₂, viene emesso un segnale acustico per dare il tempo alle persone eventualmente presenti di allontanarsi per non correre il rischio di restare soffocate.

La CO₂ si presta bene all'estinzione dell'incendio per soffocamento, riducendo l'O₂ a percentuali inferiori a quelle minime per mantenere la combustione e quindi per rischi d'incendio di liquidi o vapori infiammabili in ambienti chiusi. L'impianto, nella forma

automatica più completa, comprende dispositivi che provvedono alla chiusura delle porte, delle finestre e degli eventuali impianti di condizionamento e ventilazione.

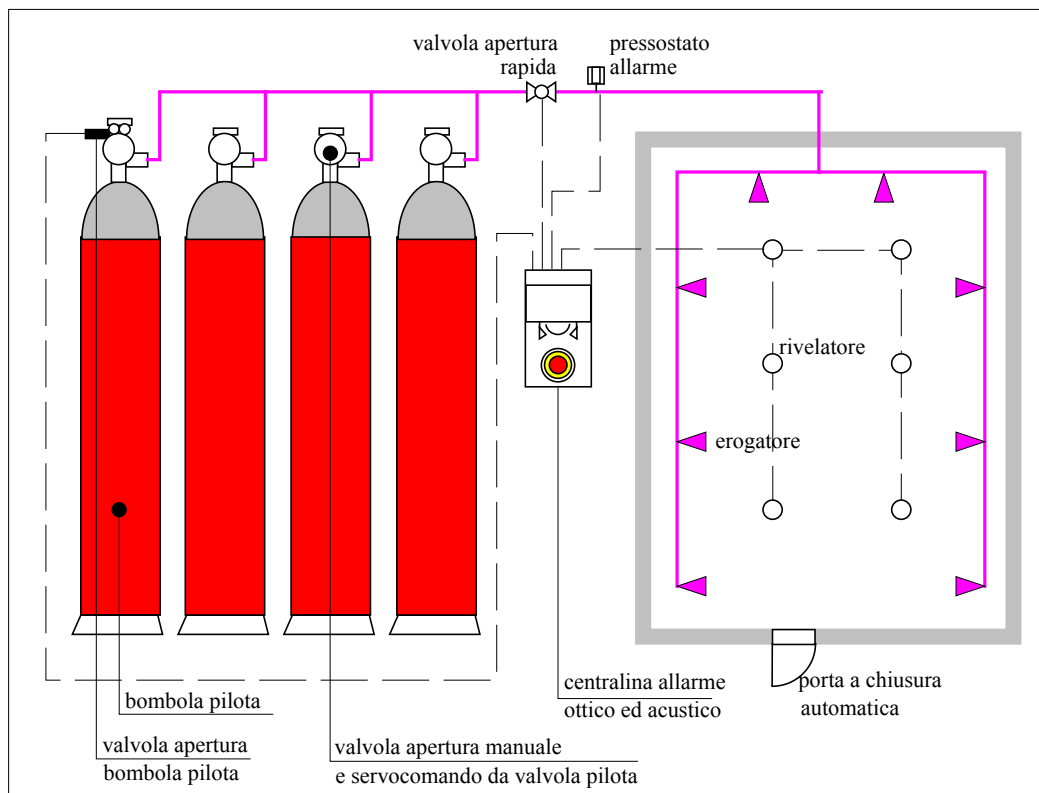


fig. 3.80. Schema di impianto a CO_2 .

Per scopi pressoché equivalenti vengono realizzati *impianti fissi a polvere* ed *a liquidi alogenati*. È della massima importanza che detti impianti siano eseguiti da ditte specializzate con ampi criteri cautelativi e che ne sia accuratamente eseguita la successiva manutenzione. Questi impianti, la cui diffusione è tuttavia limitata, trovano impiego essenzialmente in protezioni localizzate. Negli impianti fissi a polvere, l'inconveniente che si incontra consiste nella difficoltà di rimozione della polvere scaricata, che ne sconsiglia l'impiego nei casi in cui possa arrecare danni ai beni da proteggere.

3.5.5.5. Le Attrezzature Individuali

Gli **autoprotettori** si utilizzano quando c'è *meno del 17% di ossigeno* oppure quando non si conosce il tipo di gas presente o non si hanno gli opportuni filtri per la maschera antigas. È un sistema che permette all'operatore di non respirare l'aria dell'ambiente (come invece avviene per la maschera antigas). In particolare l'autoprotettore a ciclo chiuso si usa quando ci sono veleni nell'aria.

Esso si compone di una bomboletta di ossigeno, di una valvola, di una sacca, di un boccaglio con filtro a carbone. È complesso da usare ed ha bisogno di una preparazione specifica. L'operatore, infatti, prepara da sé la miscela da respirare e deve tenere presente che nonostante il filtro a carbone solo una parte del CO_2 che ha emesso viene filtrato, mentre un'altra parte ritorna all'interno nella sacca, cosa che rende difficoltoso il calcolo della percentuale di ossigeno da immettere nel *polmone* dell'autorespiratore.

3. SERVIZI AZIENDALI

Un altro tipo di autorespiratore utilizza direttamente bombole di aria ed ovviamente il CO₂ emesso in questo caso non viene recuperato.

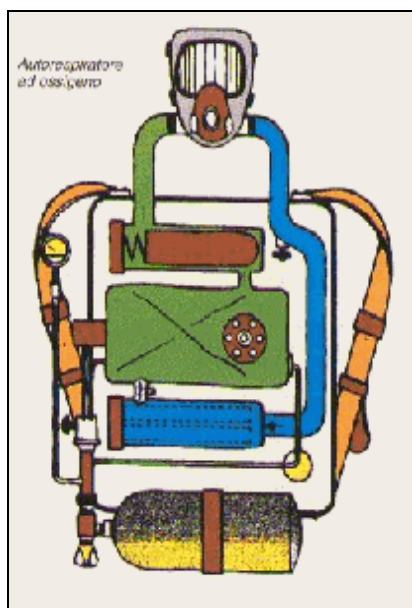


fig. 3.81. Autoprotettore a ciclo chiuso

La **maschera antigas** si utilizza quando c'è *più del 17% di ossigeno* nell'ambiente. Inoltre bisogna conoscere il tipo di gas presente, così da utilizzare i filtri necessari. Il filtro viene utilizzato una sola volta e soprattutto *dopo aver tolto il tappo*.

La **protezione totale** è un'attrezzatura completa generalmente in materiale riflettente, che si utilizza quando nell'ambiente ci sono sostanze molto tossiche, tipo acido cianidrico, o acido cloridrico, che si assorbono attraverso la pelle.

3.6. LA MANUTENZIONE NEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI

L'esposizione sistematica dei diversi problemi della teoria dell'affidabilità prende avvio dalla definizione delle nozioni principali, quali l'affidabilità, il guasto, la durata di vita, ecc.

Come in altri campi della scienza, le nozioni principali della teoria dell'affidabilità sono interpretate dalla descrizione delle relazioni esistenti tra esse:

- si definisce **articolo** un elemento, un sistema od una delle sue parti;
- l'**esercizio** di un articolo è l'insieme di tutte le fasi della sua esistenza: trasporto, immagazzinaggio, installazione, messa a punto, servizio, ecc;
- la nozione di affidabilità dell'articolo è intimamente legata a quella di **qualità**. Qui, chiameremo qualità dell'articolo l'insieme delle proprietà che determina il grado di attitudine all'uso determinato dalla sua destinazione, cioè alla rispondenza al concetto di funzionalità, perciò all'appartenenza di tutti gli indici di qualità al campo di tolleranza imposto. Tuttavia, la nozione di qualità dell'articolo dipende profondamente dal modo in cui esso è utilizzato. Per esempio, quando una macchina utensile è utilizzata nelle condizioni di temperatura ed umidità definite preventivamente e relative alla nostra zona temperata, la resistenza all'umidità non gioca un ruolo importante sulla qualità della macchina. Invece, la situazione è completamente diversa nel caso in cui la stessa macchina è fatta funzionare in ambiente tropicale, dove la resistenza all'umidità costituisce una proprietà sostanziale della qualità della macchina. Come detto, la qualità degli articoli complessi è determinata da un gran numero di proprietà, le quali, a loro volta, sono definite da un certo numero di indici quantitativi. Ma, nel corso del tempo le proprietà che costituiscono la qualità dell'articolo variano, e normalmente nel senso meno desiderabile, abbassando il livello di qualità in confronto a quanto ottenuto inizialmente;
- con **affidabilità** dell'articolo intendiamo la proprietà dell'articolo di conservare la qualità nelle condizioni previste di esercizio: in altri termini, l'affidabilità è la **qualità sviluppata nel tempo**. Ne deriva che l'affidabilità è determinata dalla qualità e dalle condizioni di esercizio, ed è legata alle proprietà che l'articolo possedeva al momento della sua fabbricazione o della sua messa a punto prima dell'esercizio. Così e per esempio, non ha senso parlare di non affidabilità di una macchina utensile in rapporto alla rumorosità, se la limitazione della rumorosità non è stata presa in considerazione nel progetto della macchina. Al contrario, se accorgimenti o dispositivi contro la rumorosità sono stati previsti, bisogna inserire tra le proprietà della qualità e dell'affidabilità anche la ridotta rumorosità.

Il problema del **miglioramento della qualità** e dell'**aumento dell'affidabilità** diviene sempre più importante ed attuale derivando esso dalla crescente meccanizzazione ed automatizzazione dei processi produttivi. L'importanza del problema è determinata dal fatto che l'insufficiente affidabilità degli articoli comporta grandi spese di manutenzione e frequenti arresti del ciclo produttivo, ed, addirittura, si possono produrre guasti con gravi perdite materiali e, persino, umane. Così, in certi casi i dispositivi manuali possono analiticamente dimostrarsi più affidabili di quelli automatici a causa della sottostima dell'importanza dell'affidabilità di questi, la quale conduce spesso alla circostanza che le spese di regolazione e riparazione sono largamente superiori al costo dell'articolo. Tuttavia, le macchine sono penetrate in tutte le sfere dell'attività umana, in particolare in quelle dello sviluppo e della gestione della produzione ed i problemi che le macchine sono in grado di risolvere sono sempre più complicati. La complessità cre-

sciente dei problemi porta ad una complicazione crescente delle macchine che li risolvono. Si scopre allora una delle principali **contraddizioni dello sviluppo della tecnica moderna**: da una parte, la complessità dei sistemi comporta una diminuzione della loro affidabilità; dall'altra, le esigenze del loro funzionamento sicuro divengono sempre più strette. La **teoria dell'affidabilità** serve precisamente a ricercare i modi di soluzione di questa contraddizione, fondamentalmente prospettando tre percorsi:

- miglioramento della qualità e l'aumento dell'affidabilità dei singoli articoli componenti il sistema complesso;
- elaborazione di metodi di manutenzione dei sistemi durante l'esercizio,
- elaborazione di metodi mirati di progettazione di sistemi affidabili a partire da articoli non affidabili.

Da questo punto di vista, la teoria dell'affidabilità è la scienza che studia le leggi generali da osservare nell'elaborazione dei progetti, negli esperimenti programmati, nella definizione del processo produttivo, nelle modalità di ricezione e di esercizio degli articoli per assicurare la massima efficienza del loro utilizzo.

Continuando con l'elencazione delle nozioni principali in teoria dell'affidabilità, definiamo:

non-guasto la proprietà dell'articolo di conservare la propria funzionalità nell'intervallo di tempo dato e nelle condizioni d'uso definite;

guasto la perdita totale o parziale, oppure una modifica delle proprietà dell'articolo, che abbassa o che impedisce completamente la funzionalità. In molti casi la definizione di guasto è chiaramente definibile, come per una lampadina: o si accende o resta spenta al comando.

Tuttavia, in generale la definizione di guasto deve essere rapportata alla funzionalità. Ad esempio, consideriamo resistenze per circuito elettronico per le quali, evidentemente, l'indice fondamentale di qualità è il valore della resistenza in ohm. Normalmente si individua la condizione di guasto di una resistenza nel fatto che il suo valore esca dai limiti ammissibili:

$$\Omega_0 \pm \Delta\Omega_0$$

e si dirà che, all'istante t , sono in condizione di guasto quelle resistenze il cui valore è fuori dall'intervallo detto. Il valore $\Delta\Omega_0$ di fornitura non è legato alle condizioni concrete di utilizzazione, ma solamente al processo produttivo della resistenza: infatti, il valore di $\Delta\Omega_0$ richiesto differisce sostanzialmente nei diversi schemi elettronici nei quali la resistenza può essere impiegata. Inoltre, se lo schema elettronico è stato progettato in maniera opportuna, accade che l'uscita del valore dall'intervallo $\Omega_0 \pm \Delta\Omega_0$ può non provocare una situazione di guasto.

Tuttavia ed indipendentemente dal suo carattere relativo, la nozione di guasto è una caratteristica utile e ricca dell'affidabilità, perché permette di introdurre gli indici numerici dell'affidabilità ed, attraverso tali indici, permette di confrontare l'affidabilità di articoli diversi o degli stessi articoli, ma costruiti in tempi diversi oppure con processi diversi. Inoltre, in particolare per sistemi complessi (cioè composti da molti articoli), l'effetto sulla funzionalità del guasto di un singolo articolo può essere molto diverso, a seconda del giudizio che di volta in volta l'analista può darsi, e di questo effetto si potrà tener conto, mediante lo strumento dello spazio delle fasi, che sarà introdotto qui sotto;

durata di vita la proprietà di mantenere la funzionalità per un lungo periodo di tempo (magari in presenza di un'adeguata manutenzione). Alla fine della vita, nell'articolo si manifestano fenomeni legati all'usura od all'invecchiamento che è impossibile od

antieconomico eliminare. La durata di vita può essere espressa sia in termini di tempo, sia in termini di numero di cicli, sia in termini di volume di lavoro svolto. Per certi articoli la nozione di durata di vita e di non-guasto possono coincidere, ma non si tratta di una regola generale.

Per gli articoli di cui la funzionalità è mantenuta per mezzo di procedure di rinnovamento, chiamate **riparazioni**, un indice di affidabilità importante è la **capacità di riparazione**, intesa come attitudine alla prevenzione, alla validazione ed alla ripresa dei guasti. Essa è caratterizzata dal costo del lavoro e dei mezzi impiegati nella riparazione.

Le caratteristiche di qualità e di affidabilità degli articoli sono legate intimamente ai loro indici economici (prezzo di costo). In generale, l'aumento dell'affidabilità degli articoli si accompagna al maggior prezzo sostenuto dall'utente al momento del loro acquisto. Tuttavia, generalmente gli articoli cari più affidabili non si distinguono da quelli meno cari ma meno affidabili e, per giudicare quali siano i migliori, non si può tener conto solamente del prezzo. Perciò, l'elaborazione di metodi che prendano in considerazione entrambi gli aspetti costituisce uno dei problemi più importanti della scienza economica.

Ora si può formulare più concretamente l'oggetto della teoria dell'affidabilità. Essa stabilisce e studia gli indici economici e le prove di affidabilità, i legami tra gli indici del grado di economicità e di efficienza e gli indici di affidabilità. In dettaglio, la teoria dell'affidabilità:

- elabora i metodi di realizzazione degli esperimenti di affidabilità e quelli di analisi dei dati di tali esperienze;
- elabora i metodi di controllo dell'affidabilità, i metodi di pianificazione delle frequenze ottimali di manutenzione nel periodo di esercizio degli articoli ed i metodi di individuazione delle caratteristiche dei pezzi di ricambio;
- aiuta ad individuare gli indici di affidabilità degli articoli ed i regimi di sostituzione o riparazione degli articoli, in modo da ottenere l'affidabilità ottimale;
- definisce i metodi di scelta dei progetti e degli schemi costruttivi che garantiscano l'affidabilità richiesta ed elabora i migliori metodi di ricerca dei guasti nei sistemi complessi, permettendone l'individuazione delle conseguenze.

Nella soluzione dei problemi di teoria dell'affidabilità si utilizzano i risultati degli studi dei processi fisici e chimici che stanno alla base dei fenomeni legati alla perdita della qualità. Per questo, i metodi matematici della teoria dell'informazione, della teoria delle code, la programmazione lineare e non lineare, la logica matematica, i metodi di simulazione statistica al computer trovano un'ampia applicazione.

Abbiamo fin qui parlato delle nozioni di affidabilità sul piano più generale. Tuttavia, se cerchiamo di introdurre gli indici quantitativi nelle nozioni formulate, arriveremo immancabilmente alla necessità di ricorrere ad un'interpretazione probabilistica degli indici stessi ed, infatti, per la maggior parte degli articoli disponibili si intende per affidabilità la probabilità di funzionamento senza guasti in un certo intervallo di tempo. Ma si incontrano anche altre interpretazioni del termine. In questo non troviamo niente di straordinario, poiché la diversità dei problemi pratici comporta la necessità di utilizzare differenti indici di affidabilità di funzionamento dell'articolo dato. Così, in certi casi è importante che la durata media di vita in un intervallo di tempo T sia massima; ma la necessità di introdurre altri indici quantitativi può ugualmente farsi sentire. Di più, in diversi casi può essere indispensabile raggiungere il massimo livello di affidabilità simultaneamente per diversi indici, e queste esigenze possono risultare contraddittorie. In tali casi, si può cercare di trovare la soluzione ottimale in relazione alle diverse esigen-

ze, e tale condizione complessa di ottimo non può essere determinata senza tener conto del sistema concreto e del suo impiego.

Per esempio, è molto importante fare in modo che i veicoli dei Vigili del Fuoco si prestino bene alle riparazioni e che la loro durata di vita sia la più lunga possibile. Tuttavia, dal punto di vista dell'interesse dell'esercizio e del Paese in generale, l'affidabilità di queste macchine acquista un'importanza particolare per riguardo all'elevato grado di probabilità di funzionamento senza guasti nel corso della chiamata di emergenza. Cioè, le perdite di sicurezza saranno elevate se il veicolo, che tuttavia possiede una lunga durata di vita, si trovasse in panne proprio durante l'intervento e richiedesse in quel momento una riparazione. La durata di vita, cioè la durata netta di esercizio del veicolo fino alla sua messa fuori servizio, pur essendo una caratteristica importante della qualità, resta così in secondo piano.

Perciò, gli indici quantitativi di affidabilità sono molti, ed in ogni caso concreto il ruolo determinante può appartenere ad indici diversi dell'affidabilità. In questo capitolo ci limiteremo allo studio dei modelli matematici legati all'utilizzo della teoria della probabilità e della statistica matematica alla determinazione di alcuni indici di affidabilità.

3.6.1. Spazio delle Fasi

Per **articolo** considereremo non solamente la parte non decomponibile di un sistema, ma anche ogni dispositivo di cui si studia l'affidabilità indipendentemente dall'affidabilità dei suoi componenti.

Tra tutti gli stati nei quali si può trovare l'articolo, estraiamo lo spazio $\mathcal{C}\{\mathbf{x}\}$ di tutti gli stati $\mathbf{x}$ che si distinguono dal punto di vista dell'affidabilità. Chiameremo $\mathcal{C}$ lo **spazio delle fasi** dell'articolo. Per esempio, se un articolo è composto da n blocchi, dei quali ciascuno può trovarsi in stato di non guasto o di guasto, lo spazio delle fasi dell'articolo è costituito da punti della forma:

$$\mathbf{x} = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$$

in cui:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= 0 && \text{se l'i-esimo blocco è funzionante,} \\ \varepsilon_i &= 1 && \text{se l'i-esimo blocco è guasto.} \end{aligned}$$

Se i blocchi in stato di guasto possono essere riparati e se il tempo di riparazione è una variabile casuale la cui funzione di ripartizione è $N_{\text{rip}}(\mathbf{x})$, in generale è naturale pensare che gli stati del sistema differiscono tra loro se i tempi già spesi per la riparazione dei blocchi sono anch'essi diversi. Perciò ci si deve riferire ad uno spazio delle fasi $\mathcal{C}$ più complesso, nel quale si tenga conto dei tempi di riparazione e formato dai punti:

$$\mathbf{x} = (\varepsilon_1, t_1, \varepsilon_2, t_2, \dots, \varepsilon_n, t_n)$$

in cui

- b) $\varepsilon_i = 0$ se l'i-esimo blocco è nello stato di non guasto e $t_i \geq 0$, per definizione,
- c) $\varepsilon_i = 1$ se l'i-esimo blocco è nello stato di guasto e t_i è il tempo già impiegato per la riparazione in corso.

È possibile dare ad $\mathbf{x}$ un significato fisico. Supponiamo che gli indici di qualità più importanti della qualità di un articolo **transistor** siano il suo guadagno in corrente β ed

il suo fattore di rumore N . In questo caso lo spazio delle fasi $\mathcal{C}\{\mathbf{x}\}$ è composto dall'insieme dei punti:

$$\mathbf{x} = (\beta, N)$$

che appartengono al quadrante dei valori positivi $\beta \geq 0$ ed $N \geq 0$.

Il primo passo dell'elaborazione di un modello matematico è la scelta dello spazio delle fasi $\mathcal{C}\{\mathbf{x}\}$. Nel tempo, nell'articolo si producono modificazioni legate, ad esempio, all'invecchiamento. A causa di ciò, se all'istante t_1 lo stato del sistema è descritto dal punto $\mathbf{x}_1$, all'istante $t_2 > t_1$ corrisponderà un punto $\mathbf{x}_2$. Può accadere che $\mathbf{x}_2$ sia diverso da $\mathbf{x}_1$. Se si indica con:

$$\mathbf{x}(t) \in \mathcal{C}$$

lo stato dell'articolo all'istante t , si può considerare la sequenza degli stati $\mathbf{x}(t)$ come un processo che si svolge nel tempo. Poiché la variazione dello stato presenta un carattere casuale, si possono considerare i valori di $\mathbf{x}(t)$ come la traiettoria di un processo casuale che si svolge nello spazio delle fasi del sistema $\mathcal{C}$.

Il secondo passo dell'elaborazione del modello matematico consiste nella definizione di tale processo casuale, in funzione delle condizioni concrete del problema.

Quando lo spazio delle fasi $\mathcal{C}\{\mathbf{x}\}$ è definito e si è individuato il processo casuale $\mathbf{x}(t)$ che descrive l'evoluzione dell'articolo nel tempo, si devono stabilire gli indici di affidabilità dell'articolo. Come già detto, questa scelta dipende dalle condizioni concrete e dalla destinazione d'uso dell'articolo.

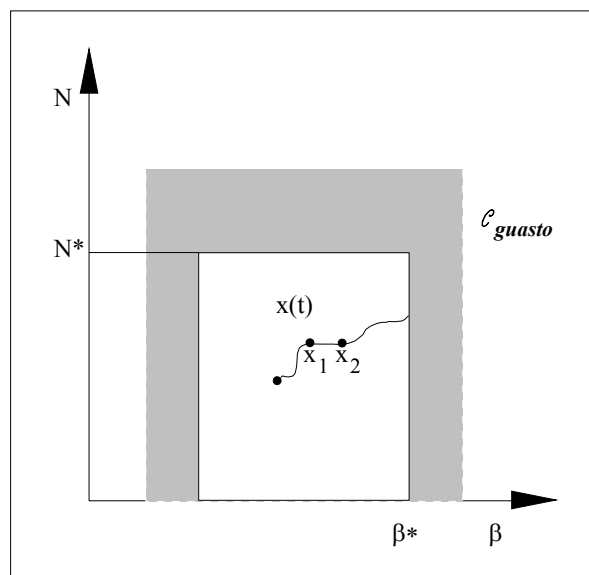


fig. 3.82. Spazio delle fasi del transistor la cui qualità è caratterizzata dal guadagno β e dal livello di rumore N .

Da un punto di vista generale, gli indici di affidabilità possono essere considerati la speranza matematica (stima) di un certo funzionale Φ individuato e determinato sulle traiettorie del processo casuale $\mathbf{x}(t)$. Si dice che il funzionale Φ è determinato sul processo $\mathbf{x}(t)$ se, ad ogni traiettoria $\mathbf{x}(t)$, è possibile far corrispondere un numero $\Phi(\mathbf{x}(t))$. L'indice di affidabilità dell'articolo φ è la speranza matematica del funzionale:

$$\varphi = M\{\Phi(x(t))\}$$

È come attribuire ad ogni punto $x(t)$ un peso ed adottare come indice di affidabilità lungo la traiettoria la media del peso. A questo riguardo, ricordiamo che con la stessa notazione $M\{a\}$ abbiamo indicato la media ponderale di a . È proprio assegnando un peso all'indice di affidabilità di un articolo appartenente ad un sistema complesso che, come detto sopra a proposito del giudizio che l'analista può darsi, stabilire l'effetto dello stato di guasto dell'articolo sulla funzionalità, e quindi sull'affidabilità dell'intero sistema complesso. Ad esempio, basta pensare al peso diverso che, a seconda dei casi, l'analista di un sistema complesso (come una vettura) può dare al guasto di articoli componenti il sistema, come una lampadina di un faro, un alzacristalli elettrico, il climatizzatore, una valvola del sistema di distribuzione del motore, ecc. sull'affidabilità complessiva del sistema vettura.

Per esempio, si può ottenere la probabilità di funzionamento senza guasto $P(t)$ nel modo seguente. Innanzitutto, si determina, nello spazio delle fasi $\mathcal{C}$, il sottoinsieme:

$$\mathcal{C}_{\text{guasto}} \subseteq \mathcal{C}$$

nel quale l'articolo è nello stato di guasto.

Ritorniamo all'esempio del transistor, per il quale, durante gli esperimenti di affidabilità, si tenga conto solamente del *guadagno* e del *rumore*. La forma del semispazio $\mathcal{C}_{\text{guasto}}$ è quella di fig. 3.81. Determiniamo il funzionale Φ_1 ponendo $\Phi_1(x(t)) = 0$, se per un valore $s \leq t$ la traiettoria non entra nel semispazio $\mathcal{C}_{\text{guasto}}$; altrimenti $\Phi_1(x(t)) = 1$. È evidente che:

$$M\{\Phi_1(x(t))\} = 1 - p(t)$$

è pari alla probabilità di guasto nell'intervallo $(0, t)$.

Invece, un altro funzionale, $\Phi_2(x(t))$, può rappresentare la lunghezza dell'intervallo di tempo compreso tra l'inizio del funzionamento del sistema ed il momento in cui la traiettoria entra in $\mathcal{C}_{\text{guasto}}$. La costante:

$$\mu(T) = M\{\Phi_2(x(t))\}$$

è un indice importante dell'affidabilità del sistema, ed è chiamata **durata media del funzionamento senza guasto** del sistema.

Altri modi per definire l'affidabilità ottimale del sistema dal punto di vista della sua efficienza sono possibili. Così, per esempio possiamo avere la necessità di confrontare gli indici di affidabilità di diversi sistemi, i quali possano percorrere lo spazio delle fasi secondo traiettorie differenti e di scegliere il migliore di essi. Una condizione tipica nell'esame di tali problemi può essere la definizione della riserva ottimale di ricambi.

Altri aspetti del problema di determinare l'efficacia economica ottimale sono ugualmente possibili. È innegabile che la combinazione razionale di una affidabilità elevata e di una grande economia presenti un interesse economico certo e che le questioni che gli si riferiscono meritino uno sviluppo particolare e multiforme.

Una delle interpretazioni economiche possibili è la seguente: supponiamo che l'affidabilità del sistema sia caratterizzata dal funzionale $\Phi(x(t), T)$, in cui T è il tempo stabilito di non guasto, e

$w = \{\Phi(x(t), T)\}$ la perdita economica dovuta alle riparazioni nel corso del tempo T . Se il costo di riparazione di ogni guasto è c e se il numero di guasti nel corso del tempo T è pari ad $F(T)$, le spese globali legate all'utilizzo del sistema nel corso del tempo T sono, in media:

$$M\{w\{\Phi[x(t), T]\}\} + c \cdot M\{F(T)\}$$

e, durante la stesura del progetto e lo sviluppo dell'esercizio, si può partire dall'esigenza che questa somma assuma un valore minimo.

3.6.2. L'Affidabilità di un Articolo Fino al Primo Guasto.

Come detto, per **articolo** considereremo non solamente la parte non decomponibile di un sistema, ma anche ogni dispositivo di cui si studia l'affidabilità indipendentemente da quella dei suoi componenti. Supponiamo che l'uso dell'articolo inizi all'istante $t = 0$ e che lo stato di guasto si verifichi all'istante $t = \tau$. Diremo che la durata di vita dell'articolo fino al primo guasto è τ . Supponiamo anche che τ sia una variabile casuale, la cui funzione di ripartizione sia:

$$\begin{aligned} F(t) &= P\{t > \tau\} \\ R(t) &= 1 - F(t) \end{aligned}$$

dove $F(t)$ è la probabilità di guasto prima dell'istante t . Se $F(t)$ è continua e la densità di guasto:

$$f(t) = F'(t)$$

esiste ed è continua, siamo nelle condizioni naturali di impiego della teoria dell'affidabilità. Le condizioni di utilizzo degli articoli devono essere opportune, in particolare gli articoli devono essere impiegati in condizioni omogenee, poiché differenze di impiego (come abbiamo detto) portano ad indici di affidabilità di valore diverso. Inoltre, devono essere eseguite le prove nelle condizioni estreme dell'uso previsto, pur nel rispetto dei limiti di garanzia. Nelle ipotesi fatte, $F(t)$ determina compiutamente l'affidabilità dell'articolo.

Una forma approssimata di $R(t)$ può essere ricavata sperimentalmente. Cominciamo col trovare il valore di $R(t)$ per un valore $t = t_0$, cioè il valore della probabilità dello stato di non guasto durante il periodo t_0 . Per questo, sottoponiamo a prova N articoli identici e nelle stesse condizioni per il tempo t_0 e contiamo gli n articoli sopravvissuti alla prova dopo il tempo t_0 . L'esperimento può essere considerato come una serie di N prove indipendenti, nel corso delle quali si verificano, nello spazio delle fasi, due circostanze:

- l'articolo è nello stato di guasto,
- l'articolo è nello stato di non guasto.

Il rapporto n/N rappresenta la frequenza della seconda circostanza ed, applicando il teorema di Borel, possiamo affermare con probabilità praticamente unitaria che:

$$\frac{n}{N} \rightarrow R(t_0) \quad \text{per} \quad N \rightarrow \infty$$

e questa relazione sarà considerata valida per N grande.

Poi, se desideriamo individuare la funzione $R(t)$ per i valori $t \leq t_0$, dobbiamo tener conto dei guasti che progressivamente si verificano nell'intervallo. Conoscendo la se-

quenza e registrando i tempi ai quali il guasto degli articoli via via si verifica, si determina facilmente la funzione $\mathbf{n(t)}$, che descrive il numero di articoli nello stato di non guasto, in funzione di $\mathbf{t}$. All'istante iniziale, la funzione $n(0)=N$ ed, ogni volta che si cade nello stato di guasto, $\mathbf{n(t)}$ si riduce di un'unità. Il rapporto:

$$R_N(t) = \frac{n(t)}{N}$$

è detto **funzione empirica dell'affidabilità** ed è rappresentato in modo generico in fig. 3.86. All'aumentare di N , essa approssima uniformemente la funzione $\mathbf{R(t)}$:

$$R_N(t) = \frac{n(t)}{N} \cong R(t) \quad (3.29)$$

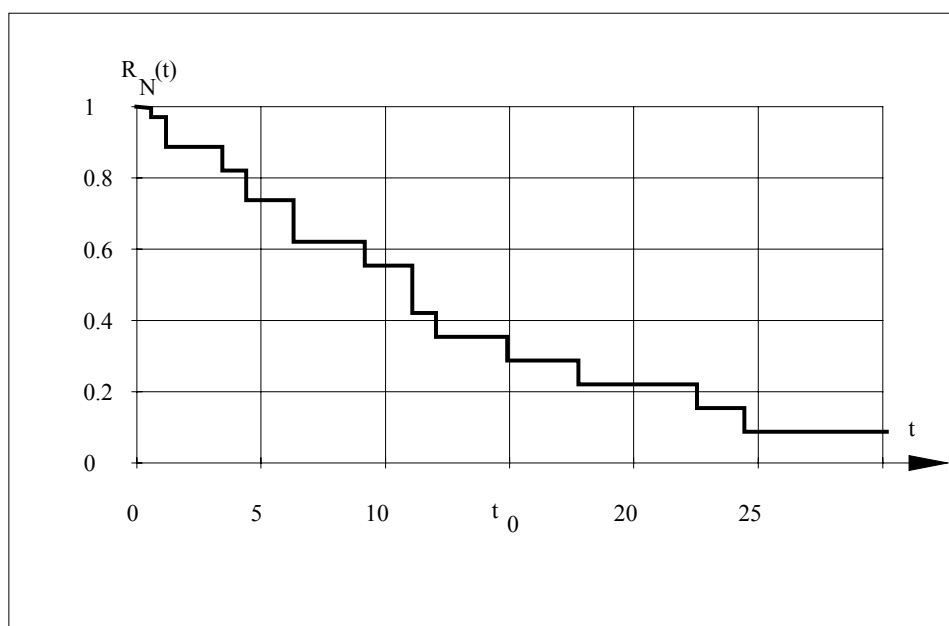


fig. 3.83. Funzione empirica di affidabilità.

Conviene notare che, se le prove sono condotte in un certo intervallo di tempo, non possiamo dire nulla sulla funzione al di fuori di tale intervallo; cioè, in generale, non è corretto estrapolare la funzione. Tuttavia, da considerazioni fisiche o dall'esperienza pregressa, la formula $\mathbf{R(t)}$ può essere nota e descritta da una formula contenente una o più incognite. Allora, a seguito delle prove, le incognite possono essere più o meno giustamente determinate ed, a partire da esse, scrivere la funzione su un intervallo infinito di tempo. Tuttavia, si deve notare che, per uno stesso grado di incertezza, per stimare $\mathbf{R(t)}$ occorre un numero molto più grande di dati di quanto non occorra per stimare $\mathbf{R(t_0)}$.

In molti casi l'affidabilità è caratterizzata da pochi indici numerici, dei quali uno dei più importanti è il valore medio del **tempo di funzionamento nello stato di non guasto** e che è definito dalla speranza matematica (stima puntuale) della variabile casuale τ :

$$\mu(T) = \mathbf{M}\{\tau\} = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt \quad (3.30)$$

Se l'integrale scritto converge, questa formula indica che il tempo medio $\mu(T)$ si esprime geometricamente dall'area delimitata dagli assi coordinati e sottesa dalla curva $R(t)$.

Anche il tempo medio senza guasti può essere ricavato dallo stesso esperimento, fino a che l'ultimo articolo si sia guastato. Se $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ sono le durate di non guasto degli articoli, la **durata media empirica** di non guasto è:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_N}{N}$$

ed, ancora per il teorema di Borel:

$$\bar{\tau} \rightarrow \mu(T) \quad \text{per} \quad N \rightarrow \infty$$

e, per N grande:

$$\bar{\tau} \cong \mu(T)$$

Purtroppo queste prove sono impossibili da realizzare poiché:

- le prove di affidabilità sono distruttive,
- N deve essere grande,
- la durata delle prove deve essere limitata e non si può attendere che tutti gli articoli si guastino durante la prova.

Quindi, normalmente le prove devono essere **interrotte**. Allora, se supponiamo che durante il tempo t , provando N articoli, n cadano nello stato di guasto agli istanti $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$, la sola cosa che possiamo fare è di ridurre il tempo medio dell'esperimento. Considerando che N deve essere grande, si può scrivere:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1 + \dots + \tau_n + \tau_{n+1} + \dots + \tau_N}{N} > \frac{\tau_1 + \dots + \tau_n + (N - n) \cdot t}{N}$$

ma, per ragioni pratiche:

$$\mu(T) = \frac{\tau_1 + \dots + \tau_n + (N - n) \cdot t}{N} \quad (3.31)$$

considerando che una tale stima ha tanta più validità quanto più n è prossimo ad N .

Passiamo ora allo studio dell'indice di affidabilità più diffuso, il **rischio di guasto**. Consideriamo la prova descritta in fig. 3.86 esaminando il problema seguente: supponiamo che l'articolo abbia funzionato nello stato di non guasto fino all'istante t . Vogliamo determinare la probabilità che esso non entri nello stato di guasto nell'intervallo (t, t_1) . Chiamiamo questa probabilità **condizionale** e la indichiamo con:

$$R(t, t_1)$$

Sia $R(t)$ l'indice significativo dello stato di non guasto dell'articolo nell'intervallo $(0, t)$ ed $R(t, t_1)$ il corrispondente indice nell'intervallo (t, t_1) . Si ha:

$$R(t, t_1) = \frac{R(t_1)}{R(t)} \quad (3.31)$$

e la probabilità di guasto nello stesso intervallo (t, t_1) è:

$$F(t, t_1) = 1 - R(t, t_1) = \frac{R(t) - R(t_1)}{R(t)}$$

Poniamo ora:

$$t_1 = t + \Delta t \quad \text{per} \quad \Delta t \rightarrow 0$$

$$F(t, t + \Delta t) = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \cong -\frac{R'(t)}{R(t)} \cdot \Delta t$$

ed, indicando con $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} \quad (3.32)$$

$$\boxed{F(t, t + \Delta t) \cong \lambda(t) \cdot \Delta t} \quad (3.33)$$

Quindi, $\lambda(t)$ è la probabilità che l'articolo in non-guasto fino all'istante t , si guasti nell'unità di tempo (piccola) successiva. Essa è la densità di probabilità condizionale di guasto nel tempo t precedente. Perciò, $\lambda(t)$ è detta **rischio di guasto**. Dalla (1.4), integrando l'equazione differenziale, risulta:

$$R(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt \right]$$

Come detto sopra, anche la funzione $\lambda(t)$ viene determinata da risultati sperimentali, in termini discreti: Siano ancora N gli articoli soggetti a prova e di cui contiamo la sequenza dei guasti. Sia $n(t)$ il numero di articoli non-guasti all'istante t . Per un Δt sufficientemente piccolo ed N sufficientemente grande si ha:

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} \cong \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot R(t)} \cong \frac{\frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{N}}{\Delta t \cdot \frac{n(t)}{N}}$$

e:

$$\lambda(t) \cong \frac{\Delta n}{\Delta t \cdot n(t)} \quad (3.34)$$

in cui Δn è il numero di guasti nell'intervallo $(t, t + \Delta t)$. Questo significa che, statisticamente, il rischio di guasto è pari al numero di guasti che si producono nell'unità di tempo, numero riferito a quanti articoli sono ancora nello stato di non guasto.

Esempio

Supponiamo di sottoporre a prova 1000 articoli identici e nelle stesse condizioni ambientali e che, nel corso della prima ora, 50 articoli entrino nello stato di guasto; che dopo 30 ore 60 articoli siano ancora nello stato di non guasto e che, nel corso dell'ora seguente, entrino nello stato di guasto 20. Ci si può chiedere quando l'articolo è più sicuro, se all'inizio oppure dopo 30 ore di funzionamento.

È chiaro che l'articolo è più sicuro all'inizio, poiché nella prima ora sono entrati nello stato di guasto $50/1000=1/20$, mentre, dopo 30 ore di prova, ne sono entrati $20/60=1/3$.

Allora, si vede che l'affidabilità dell'articolo è caratterizzata in ogni istante dal rapporto del numero di guasti nell'unità di tempo ed il numero di articoli nello stato di non guasto in quell'istante, cioè è caratterizzata dal **rischio di guasto**.

È significativo rappresentare graficamente l'andamento dei guasti e rapportarlo al numero di articoli ancora nello stato di non guasto. Nel diagramma di fig. 3.87 si è suddiviso l'asse dei tempi riportato in ascissa in unità di tempo **h** e, per ogni tempo **t**, si è riportato il numero relativo di guasti che cadono nell'intervallo:

$$(k-1) \cdot h \leq t < k \cdot h \quad \text{con} \quad k = 1, 2, \dots$$

In questo modo, il rischio di guasto empirico è:

$$\lambda_N(t) = \frac{n_{k-1} - n_k}{n_{k-1} \cdot h}$$

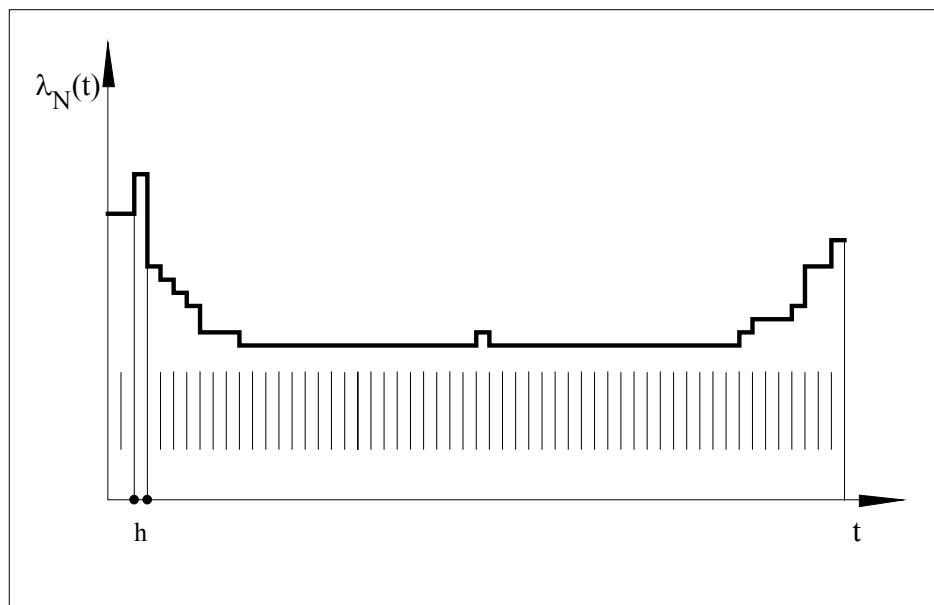


fig. 3.84. Determinazione del rischio di guasto empirico mediante una prova sperimentale.

L'istogramma di fig. 3.87 non è che la rappresentazione discreta della curva continua di fig. 3.88, dove, nel tratto centrale, $\lambda(t) \approx \text{cost}$ e segue la legge esponenziale:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.35)$$

Molti dati sperimentali mostrano che, per numerosi articoli, la funzione $\lambda(t)$ presenta l'andamento caratteristico della curva di fig. 3.88. Dalla figura si vede che tutto l'intervallo di tempo può essere diviso in tre segmenti:

- nel primo segmento la funzione $\lambda(t)$ possiede valori elevati. Il fatto dipende dalla circostanza che, in un gran numero di articoli, se ne presentano sempre con difetti nascosti e che si guastano nel periodo più vicino all'avvio. È per questo che il primo periodo di vita è spesso chiamato di **rodaggio** o di **bruciatura degli articoli non conformi**;

- il secondo periodo è detto di **funzionamento normale**. Esso è caratterizzato da un valore costante (o approssimativamente costante) del rischio di guasto;
- il terzo periodo è di **invecchiamento**. Esso è caratterizzato dalla presenza di fenomeni di tipo fisico-chimico irreversibili, i quali provocano il degrado della qualità dell'articolo che *invecchia*. In questo periodo il rischio di guasto aumenta.

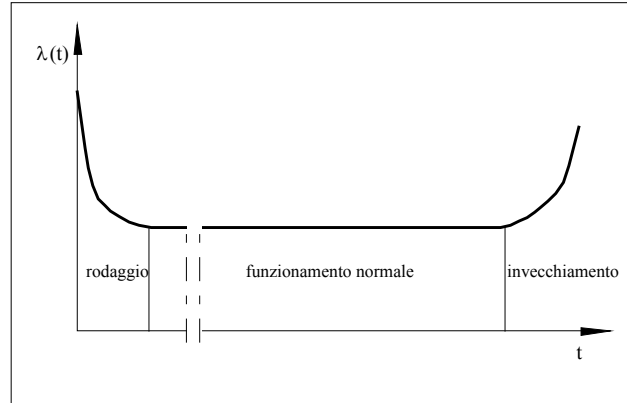


fig. 3.85. Curva tipica del rischio di guasto di un articolo.

Evidentemente, la fig. 3.88 non ha valore universale. Infatti, esistono articoli per i quali il periodo di rodaggio è nullo (per esempio, nel caso in cui un controllo di accettazione rigoroso elimina tutti gli articoli nonconformi), ed altri che praticamente non invecchiano mai. Tuttavia, per la grande maggioranza degli articoli esiste un lungo periodo nel quale il rischio di guasto è praticamente costante. Allora, si può trascurare il periodo di rodaggio (se esiste) pensando che il funzionamento dell'articolo inizi al termine di tale periodo. In effetti, l'articolo ed il sistema al quale appartiene sono soggetti ad un periodo di avviamento durante il quale è sottoposto a prove di verifica e, solo successivamente, inizia il suo utilizzo vero e proprio. Dall'altra parte dell'istogramma, l'utilizzo di molti articoli termina prima che inizi il loro evidente invecchiamento.

Queste considerazioni mostrano che per una larga classe di articoli possiamo assumere che $\lambda(t) = \lambda = \text{cost}$. Soffermiamoci su un caso importante. Dalla (3.35) discende che, per un rischio di guasto costante, la funzione di affidabilità assume la forma della legge esponenziale. Allora, la probabilità di guasto durante il tempo t è:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.36)$$

e la densità di probabilità di guasto $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$. In questo caso ($\lambda = \text{cost}$), la durata di vita dell'articolo è:

$$\mu(T) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} \cdot dt = \frac{1}{\lambda} \quad (3.37)$$

e, per la legge esponenziale, il rischio di guasto è inversamente proporzionale alla durata di vita media. Inoltre, la funzione di affidabilità può essere scritta nella forma:

$$R(t) = \exp\left(-\frac{1}{\mu(T)} \cdot t\right)$$

La legge esponenziale è molto diffusamente impiegata in teoria dell'affidabilità. Questo si spiega per il fatto che essa, utile modello di molti fenomeni naturali, è anche

semplice e comoda da applicare. Praticamente molti problemi che interessano la teoria dell'affidabilità sono più semplici da risolvere se si può assumere che il comportamento degli articoli segue la legge esponenziale e le formule si semplificano notevolmente. La ragione principale di queste caratteristiche risulta dal fatto che la legge esponenziale esprime la proprietà che la probabilità di funzionamento senza guasto nell'intervallo $(t, t + \Delta t)$ non dipende dal tempo pregresso t , ma dipende dall'ampiezza Δt . Cioè, se si sa che all'istante t l'articolo non è guasto, il suo comportamento futuro non dipende dal passato. In effetti, la probabilità di funzionamento senza guasto nell'intervallo $(t, t + \tau)$ è, in virtù della (3.35), pari a:

$$R(t, t + \tau) = \frac{R(t + \tau)}{R(t)} = \frac{e^{-\lambda \cdot (t + \tau)}}{e^{-\lambda \cdot t}} = e^{-\lambda \cdot \tau}$$

Questa è una proprietà caratteristica, cioè se essa è verificata per una legge $R(t)$, allora $R(t)$ sarà necessariamente una legge esponenziale.

3.6.3. Dall'Affidabilità alla Manutenzione

Al concetto di produzione di beni e servizi si associa immediatamente quello dell'affidabilità e della conseguente **manutenzione** da prevedere sulle apparecchiature preposte alla loro realizzazione.

Infatti, una generica macchina di un impianto industriale ha un ciclo vitale caratterizzato da un'alternanza di periodi in cui può compiere correttamente la sua missione e periodi in cui la produttività è parzialmente o completamente compromessa da un guasto e da una successiva riparazione, come schematizzato in fig. 3.89.

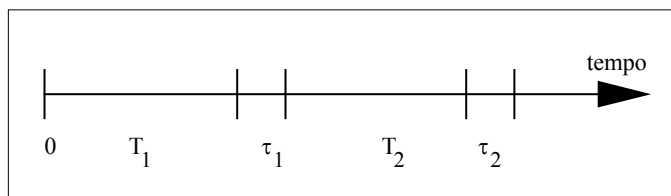


fig. 3.86. Andamento ciclico dell'utilizzazione di una macchina o di un impianto in ambiente industriale.

La **manutenzione** è la funzione aziendale che ha la supervisione degli impianti e che deve progettare e realizzare interventi con lo scopo di garantire la potenzialità nominale ed il buono stato di conservazione delle attrezzature nei periodi di funzionamento T_i , ovvero minimizzare gli intervalli di fermata τ_i necessari per ripristinare queste caratteristiche. Pertanto, è da intendersi un servizio a vantaggio della produzione.

La crescente concorrenzialità che si registra nella quasi totalità dei settori merceologici ha accresciuto l'importanza del sistema manutentivo elevandolo in alcuni casi a strumento di vantaggio competitivo. Molteplici sono gli aspetti che ne caratterizzano l'importanza:

- **patrimoniale** gli impianti rappresentano immobilizzi di denaro molto elevati;
- **tecnologico** il cattivo stato dell'impianto può compromettere la qualità del prodotto;
- **economico** legato alla mancata produzione ed alla difettosità;

- **sociale/legale** attrezzature in cattive condizioni possono provocare infortuni e inquinamenti.

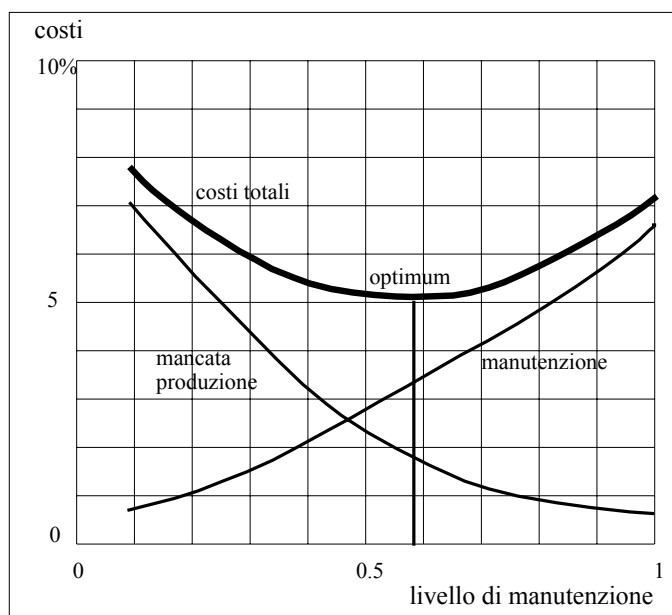


fig. 3.87. Ottimizzazione della Manutenzione.

Le attività manutentive possono elevare le disponibilità e le prestazioni degli impianti, ma parallelamente incrementano i costi d'esercizio. *Pertanto l'obiettivo che deve guidare la **pianificazione** del livello di manutenzione dovrà essere il raggiungimento del miglior compromesso dei costi, in modo da ottenere il massimo vantaggio complessivo per l'azienda*, come rappresentato in fig. 3.90.

3.6.4. La Manutenzione nell'Ottica Aziendale

Per essere efficace, la **funzione manutenzione** deve essere necessariamente legata alle altre funzioni presenti in azienda, mediante gli accoppiamenti di fig. 3.91:

manutenzione - pianificazione del lavoro. Le attività lavorative intraprese per la riparazione ed il mantenimento delle apparecchiature possono trarre giovamento dalle tecniche di schedulazione e misura del lavoro (ad esempio misura dei tempi e metodi), che usualmente sono attuate in produzione,

manutenzione - programmazione della produzione. Il tempo dedicato alla cura dell'impianto deve incidere il meno possibile con i piani di lavoro delle unità produttive. Inoltre, le scelte dei rinnovi dell'impiantistica, oltre che alla luce della potenzialità produttiva, vanno eseguite tenendo in considerazione i parametri affidabilistici sia dell'esistente, sia del futuro impianto,

manutenzione – progettazione. Lo scambio di informazioni fra queste due funzioni permette di migliorare le apparecchiature. Il progettista deve mettere in campo la sua esperienza di specialista e prendere le decisioni per le quali è qualificato, ma allo stesso tempo, il manutentore deve assicurargli tutte le informazioni riguardanti affidabilità e manutenibilità e deve poter commentare tutti gli aspetti del progetto prima dell'accettazione,

manutenzione - assicurazione e controllo qualità. La condizione degli impianti influenza direttamente la qualità dei prodotti in termini di numerosità dello scarto e di

ripetizioni di lavoro. I costi derivanti dalla difettosità dovranno essere rapportati a quelli necessari per migliorare lo stato delle macchine,

manutenzione – approvvigionamento. Con questo legame è consigliato il rapporto cliente-fornitore. Il manutentore deve definire in modo inequivocabile le **specifiche** di quanto va acquistato. Se necessario, deve condurre prove ed esperimenti, ma lasciare agli esperti del settore commerciale il perfezionamento del contratto di approvvigionamento. Arrivata la merce, la manutenzione ha il compito di collaudare quanto pervenuto, respingendo quanto non risponda alle richieste,

manutenzione - pianificazione strategica. I piani e le risorse del sistema manutentivo debbono essere in linea con le strategie di lungo periodo dell'azienda. Nuovi investimenti richiedono nuovo personale od addestramento. Eventuali automazioni richiedono qualificazioni con formazione di specialisti, e disinvestimenti futuri suggeriscono un rallentamento delle attività di manutenzione in quel particolare settore,

manutenzione - direzione del personale. Notevole è la mole di lavoro che coinvolge congiuntamente queste due funzioni. Essa si concretizza soprattutto in seminari e corsi di aggiornamento per i caposquadra e per i tecnici operatori. Contemporaneamente, l'organizzazione del lavoro e delle mansioni va continuamente adeguata alla preparazione ed ai desideri del personale,

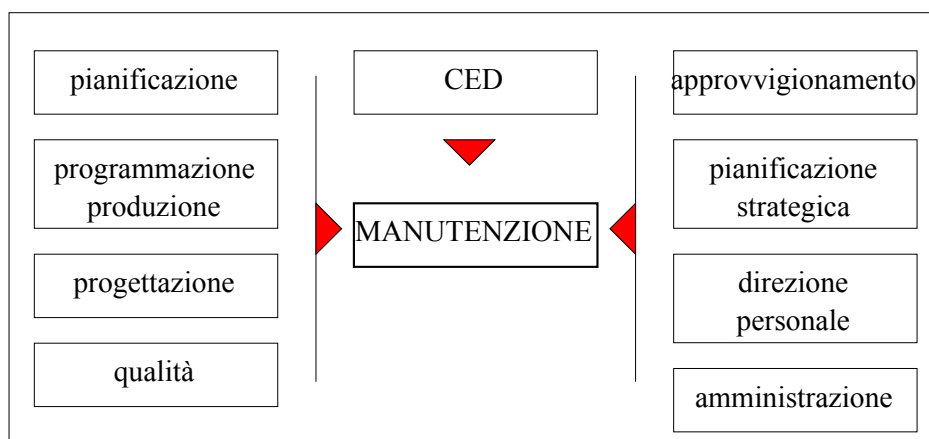


fig. 3.88. Rapporti tra Funzione Manutenzione e gli altri Sistemi Aziendali.

manutenzione – amministrazione. I rapporti con l'amministrazione riguardano soprattutto la contabilità industriale, sia nella fase di stesura del budget, sia nella consuntivazione delle spese. Il manutentore deve ricevere dalla contabilità analitica una serie di informazioni, tempestive e dettagliate, per poter gestire il suo settore in modo economico. Bisogna ricordare come siano coinvolti i flussi di materiali, macchine, uomini e servizi, ognuno dei quali riflette un preciso aspetto economico,

manutenzione - centro elaborazione dati (CED). Il CED è una *facility* che rende disponibili le informazioni necessarie per attuare le scelte nel modo più corretto possibile.

Questa analisi dei rapporti tra la manutenzione e le altre funzioni aziendali può essere conclusa sottolineando la necessità di una **direzione della manutenzione**, che deve avere proprie strategie, però integrate in quelle complessive, in cui le decisioni si basino non esclusivamente sull'esperienza, ma col supporto di dati concreti, che andranno discussi con tutti gli interessati al fine di ottimizzare il risultato complessivo.

3.6.5. Tipologie di Manutenzione

Come rappresentato in fig. 3.92, esistono fondamentalmente tre modi diversi di mantenere le macchine degli impianti produttivi:

- manutenzione correttiva o a guasto (breakdown maintenance),
- manutenzione preventiva (preventive maintenance)
- manutenzione predittiva o su condizione (condition based maintenance)

Si parla di **manutenzione correttiva** quando gli impianti si sono fermati, o sono stati deliberatamente arrestati perché si ritiene prossima un'avaria, in quanto si realizzano prodotti di qualità insufficiente o perché è venuta meno la sicurezza degli occupati. In tal caso, le principali attività riguardano la diagnosi del problema, la pianificazione della correzione e la sua successiva realizzazione.

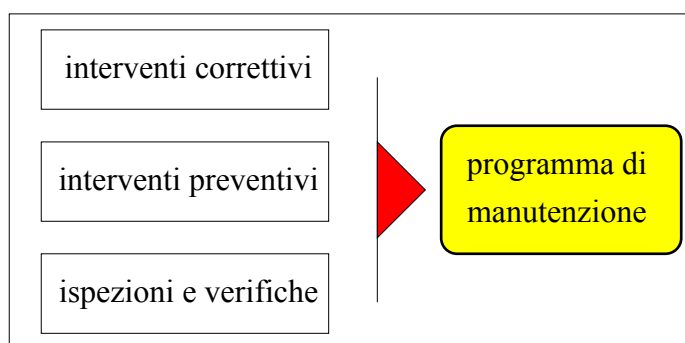


fig. 3.89. Componenti del programma di manutenzione.

Quando invece si interviene prima che gli interventi siano effettivamente richiesti dalla presenza del guasto, si parla di gestione della **manutenzione preventiva**. La determinazione della **scadenza** ottimale degli interventi di manutenzione preventiva diventa di vitale rilevanza ed è effettuata in base all'analisi statistica delle prestazioni passate ed all'ottimizzazione economica delle risorse.

La **manutenzione predittiva** si avvale del *condition monitoring*, ovvero del monitoraggio mediante opportuna sensoristica dello stato dell'impianto. Attraverso la rilevazione di fattori quali la rumorosità, le vibrazioni, la temperatura, la qualità dei prodotti in uscita ed altri ancora, è possibile dedurre informazioni sullo stato operativo della macchina. In sostanza la filosofia predittiva è analoga a quella preventiva, ma interviene sulla scorta dei dati rilevati con ispezioni e strumentazione dedicata, invece che far leva sulle prestazioni passate. Pertanto può essere vantaggiosamente utilizzata, in unione con quella preventiva, per segnalare la necessità di anticipare un lavoro già programmato, o per fornire una valida giustificazione a ritardarlo.

Un valido programma *operativo* di manutenzione dovrebbe essere una commistione di questi aspetti. La scelta dell'importanza specifica di ciascuno degli aspetti elencati è influenzata da vari fattori, che in generale sono:

- la tipologia di impianto;
- la sicurezza di funzionamento;
- le conseguenze delle fermate impreviste;
- il grado di disaccoppiamento dei processi;
- la dimensione e l'esperienza del servizio manutentivo;
- l'esistenza di parametri rilevabili, indicatori della condizione di funzionamento.

Data l'importanza della questione, è decisivo determinare il più precisamente possibile le variabili del particolare caso aziendale che si sta studiando.

3.6.6. Manutenzione Migliorativa

In una gestione moderna della manutenzione devono essere introdotti i concetti di *economicità* ed *efficienza* ed il fine ultimo deve essere quello del massimo utile aziendale. Industrialmente (anche in realtà medio-grandi), è ancora molto diffusa una gestione dominata dalla preminenza degli interventi a guasto, di solito caratterizzata dall'assenza di una funzione dedicata e da un insufficiente supporto di dati per le decisioni.

Alla manutenzione va riconosciuta un'importanza tale da giustificare una gestione sofisticata e ragionata (magari con l'impiego di tecniche precedentemente utilizzate solo in ambito strettamente produttivo). Questo modo di procedere richiede scelte che superano la semplice effettuazione dell'intervento correttivo.

Alcune tra le principali attività richieste possono così essere riassunte:

- la *generazione di un flusso informativo completo*, che rappresenta il punto di partenza insostituibile;
- l'individuazione del tipo di interventi da adottare, a seguito dell'analisi dei guasti;
- la *progettazione* e l'*attuazione di modifiche* all'impiantistica, qualora i dati raccolti evidenzino problemi sistematici risolvibili solamente con interventi strutturali;
- la valutazione dell'opportunità del rinnovo di macchine;
- il calcolo del livello ottimale delle scorte di ricambi;
- la definizione ed il miglioramento delle procedure che interessano la funzione manutentiva, che, nonostante le forti ripercussioni pratiche, è aspetto spesso trascurato.

È chiaro che un approccio di questo tipo va calibrato alle dimensioni aziendali ed alla rilevanza dell'aspetto del mantenimento nel business aziendale (si pensi ad aziende come i parchi di divertimento, ove sono prevalenti gli aspetti di sicurezza degli utenti, ovvero ad aziende di pochi dipendenti, i quali realizzano molteplici funzioni aziendali).

3.6.7. Applicazione della Teoria dell'Affidabilità

Qualsiasi sistema manutentivo non può prescindere dalla fase di analisi dell'impiantistica. I risultati vengono aggregati nei cosiddetti *parametri affidabilistici*, affidabilità, manutenibilità e disponibilità. La loro conoscenza permette di impostare la miglior politica manutentiva e tutte le scelte gestionali (rinnovi, livello scorte ricambi, ecc.) correlate.

3.6.7.1. Affidabilità di un Articolo

In confronto a quanto indicato in §3.6.2, l'**affidabilità** di un articolo viene definita anche come la *probabilità che, in un tempo di missione assegnato, esso svolga correttamente la sua funzione senza subire alcun guasto, date le condizioni ambientali e di processo in cui opera normalmente*. Quindi, per applicare correttamente questa definizione è necessario precisare:

- il **tempo di missione**, cioè il tempo di funzionamento richiesto;

3. SERVIZI AZIENDALI

- la **condizione di guasto**, cioè cosa si intenda per guasto dell'articolo di macchina e chiarire un modo univoco per determinarne la presenza, preferibilmente definendone lo spazio delle fasi;
- le **condizioni ambientali** e di processo.

Come in fig. 3.87, consideriamo **N** articoli uguali messi in servizio contemporaneamente al tempo $t=0$. Quando un articolo entra in avaria se ne registri la durata e lo si tolga dall'analisi.

Introducendo le cosiddette **classi di durata** di funzionamento, si ottiene una tabella del tipo di tab. 3.XXXV e l'istogramma di fig. 3.93. Interpolando i picchi si ottiene la funzione probabilistica continua *densità di probabilità di guasto* $f(t)$. I possibili andamenti della $f(t)$ sono vari e di solito dipendono dal momento dell'analisi lungo la vita dell'articolo (normale, esponenziale negativa, ecc.).

tab. 3.XXXVII. Stesura dello storico delle avarie degli articoli in forma tabellare, nelle varie classi di durata [h].

classe durata	avarie	frequenza
100	11	0,042
200	49	0,188
300	39	0,15
400	53	0,204
500	30	0,115
600	37	0,142
700	22	0,085
800	16	0,062
900	3	0,012
totale	260	1,000

Definiamo:

t tempo intercorrente fra l'istante iniziale del periodo di valutazione e l'istante in cui si ha la rottura;

$f(t)$ densità di probabilità di guasto;

$dp = f(t) \cdot dt$ probabilità di guasto nell'intervallo $[t, t+dt]$.

Se $f(t)$ ha la distribuzione di tipo gaussiano cioè quella di fig. 3.94:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} \exp \left[-\frac{(t - t_m)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right] \quad (3.38)$$

è ovviamente:

$$\int_0^{\infty} f(t) \cdot dt = 1 \quad \text{in quanto si ha certezza di guasto per un tempo infinito.}$$

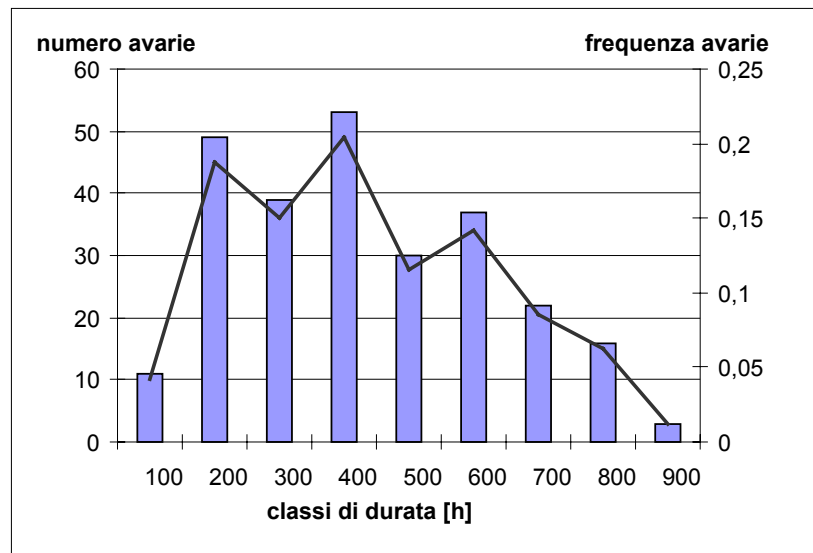


fig. 3.90. Raccolta dei dati storici delle avarie di N articoli uguali dell'impianto.

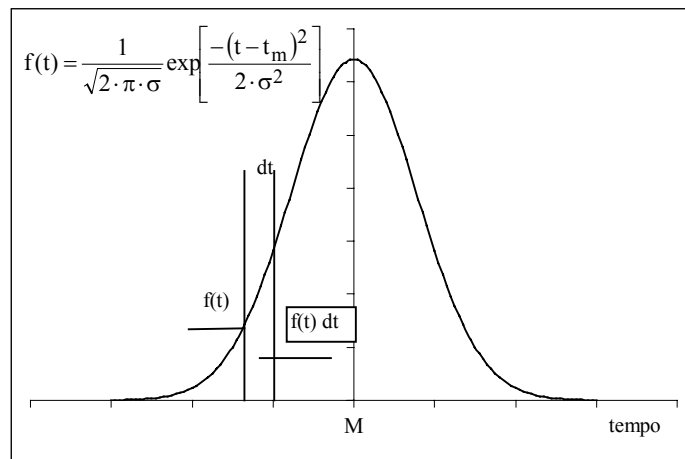


fig. 3.91. Distribuzione di tipo gaussiano del tempo di avaria degli articoli.

Quindi, in virtù della teoria probabilistica, la probabilità cumulativa che l'articolo si guasti in qualunque istante fra 0 e t è:

$$F(t) = \int_0^t f(s) \cdot ds \text{ con } dF(t) = f(t)dt$$

l'affidabilità al tempo t , cioè la probabilità che a quel tempo l'articolo sia ancora funzionante è :

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(s) \cdot ds$$

Come detto in §3.6.2, il parametro probabilistico maggiormente impiegato per caratterizzare l'affidabilità di un articolo è il tasso di guasto al tempo t , cioè $\lambda(t)$. Esso esprime la probabilità che l'articolo, ancora funzionante al tempo t , si guasti nell'intervallo $[t, t+dt]$. Ricordando che:

3. SERVIZI AZIENDALI

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

e, poiché $R(t) = 1 - F(t)$, che $dF(t) = -dR(t)$:

$$\begin{aligned} \frac{dR(t)}{R(t)} &= -\lambda(t)dt & \ln \frac{R(t)}{R(0)} &= -\int_0^t \lambda(t) \cdot dt & R(t) &= e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} \\ f(t) &= \lambda(t) \cdot R(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} & & & & (3.38) \\ F(t) &= 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} \end{aligned}$$

Esempio 1

Consideriamo 10 articoli uguali *non riparabili* messi in servizio contemporaneamente al tempo $t=0$, e sottoposti a 600h di funzionamento. La durata di un articolo che entra in avaria viene registrata e l'articolo viene tolto dall'analisi. Si sia registrato:

avaria	durata [h]
1	75
2	125
3	130
4	325
5	525

Tutti gli altri elementi hanno raggiunto le 600 h

$$\lambda = \frac{\text{numero totale avarie}}{\text{tempo di corretto funzionamento}} = \frac{5}{75 + 125 + 130 + 325 + 525 + 600 \cdot 5} = 0.001196h^{-1}$$

Esempio 2

Si supponga di analizzare un solo elemento che percorre cicli di funzionamento - guasto. Ad esempio su 2.000h di funzionamento si siano avute le 4 riparazioni di durata variabile raccolte nella tabella seguente. Si ricava:

$$\lambda = \frac{\text{numero totale avarie}}{\text{tempo di missione efficace}} = \frac{5}{2000 - (2 + 4 + 1 + 4)} = 0.002011h^{-1}$$

avaria	riparazione [h]
1	2
2	4
3	1
4	4

tab. 3.XXXVIII. Tabella riassuntiva delle definizioni degli Indici di Affidabilità

$R(t) + F(t) = 1$	$R(t) = \int_t^{\infty} f(s) ds$
$R(0) = 1, R(\infty) = 0$	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$
$F(0) = 0, F(\infty) = 1$	$f(t) = \lambda(t)R(t) = \lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(s) ds}$
$f(t) = \frac{df(t)}{dt}$	$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(s) ds}$
$f(t)dt = F(t+dt) - F(t)$	$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(s) ds}$
$F(t) = \int_0^t f(s) ds$	$MTBF = \int_0^{\infty} t f(t) dt$

Altro parametro frequentemente impiegato in questo tipo di analisi è il tempo medio fra la messa in servizio e la rottura. Nel caso di articoli non riparabili, si parla di MTTF (mean time to failure, che è come dire tempo medio al primo guasto) mentre, se l'articolo è riparabile, è più utile parlare di MTBF (mean time between failure):

$$MTBF = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} f(t) \cdot dt} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt \quad \text{ed anche:} \quad MTBF = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt$$

3.6.7.2. Andamento del Tasso di Guasto $\lambda(T)$ nella Vita dell'Articolo

L'andamento di $\lambda(f)$, per una popolazione omogenea di articoli, al crescere dell'età, è stato descritto in fig. 3.88, ed in esso si sono distinte 3 fasi:

Rodaggio: i componenti a struttura più debole vanno in avaria nelle prime ore di lavoro (mortalità infantile). Questo fenomeno tende ad esaurirsi nel tempo, con λ decrescente.

Vita Utile: i guasti sono distribuiti nel tempo in modo *casuale*, con λ praticamente costante.

Usura: il deterioramento fisico comincia a farsi sentire determinando una causa preferenziale di avaria. Il fenomeno si esalta rapidamente portando ad un forte aumento di λ .

Guasti Infantili (Rodaggio)

Abitualmente tali guasti si manifestano nelle prime ore di funzionamento (fino 200h, ma naturalmente in base al tipo di articolo considerato) e si individuano od eliminano con procedure di rodaggio. La natura del guasto infantile è casuale (come indicativamente rappresentato in fig. 3.95), e di regola i guasti infantili si verificano quando i *fattori di resistenza* sono sotto la normalità. In questi casi un interessante problema è la determinazione della durata del periodo di rodaggio, ovvero dopo quanto tempo il sistema assume le caratteristiche proprie della vita utile.

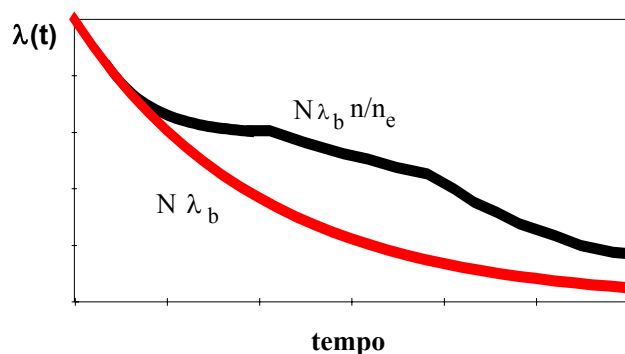


fig. 3.92. Andamento delle funzioni di Affidabilità durante il Rodaggio.

Si abbia un sistema costituito da N_b elementi buoni e N_s elementi *subnormali* (la cui rottura avviene nel rodaggio). Siano λ_b e λ_s i corrispondenti ratei di guasto ($\lambda_s > \lambda_b$). Il tasso di guasto dell'intera popolazione risulta:

$$\lambda = N_b \cdot \lambda_b + N_s \cdot \lambda_s$$

Quando tutti i componenti subnormali sono stati sostituiti con altrettanti componenti buoni (riparazioni perfette) il tasso di guasto diventa :

$$\lambda = (N_b + N_s) \cdot \lambda_b = N \cdot \lambda_b$$

In realtà non tutte le riparazioni saranno efficaci (quantificate con n_e), qualcuna introdurrà nuovi guasti infantili (indicati globalmente con n in fig. 3.95), quindi il tasso di avaria tenderà a stabilizzarsi descrivendo oscillazioni irregolari, anche se di ampiezza decrescente, come si vede in fig. 3.95.

Guasti Casuali (Vita Utile)

Come è noto, dopo il rodaggio e prima che si manifestino evidenti fenomeni di usura, spesso l'articolo è soggetto a guasti di tipo casuale, secondo un modello esponenziale per cui gli articoli guasti sono approssimativamente una frazione costante di quelli non guasti, ed il tasso di guasto $\lambda(t)$ è praticamente costante. Ne deriva che le espressioni note assumono la seguente veste molto semplice:

$$R(t) = \exp(-\lambda t)$$

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda \cdot t) \cdot dt = \frac{1}{\lambda}$$

e gli andamenti di fig. 3.96.

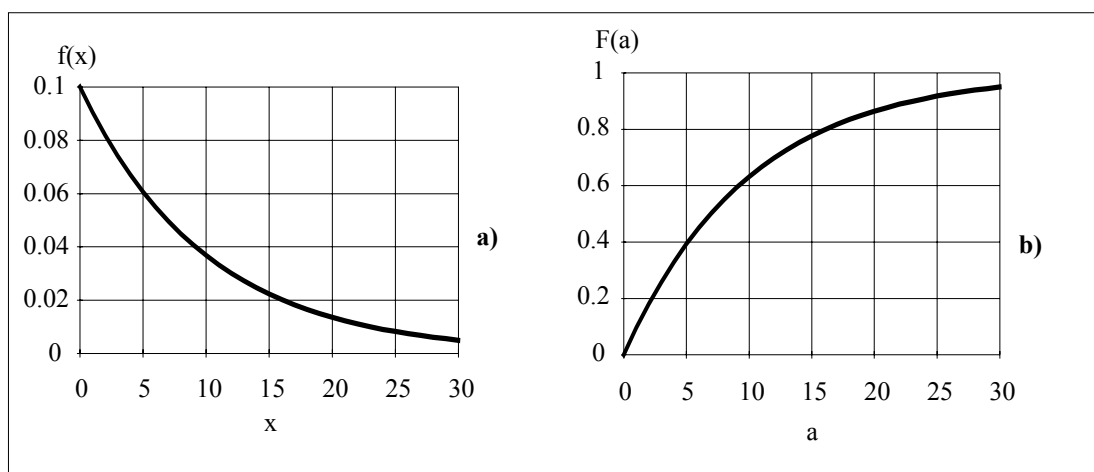


fig. 3.93. Andamenti delle funzioni di Affidabilità durante la Vita Utile.

Guasti per Usura

Quando la causa di avaria è l'usura, i guasti risultano di natura abbastanza omogenea nel tempo, e si addensano attorno ad un valore preferenziale **M**: essi hanno una distribuzione bene approssimabile dalla *gaussiana* di fig. 3.94, e quindi:

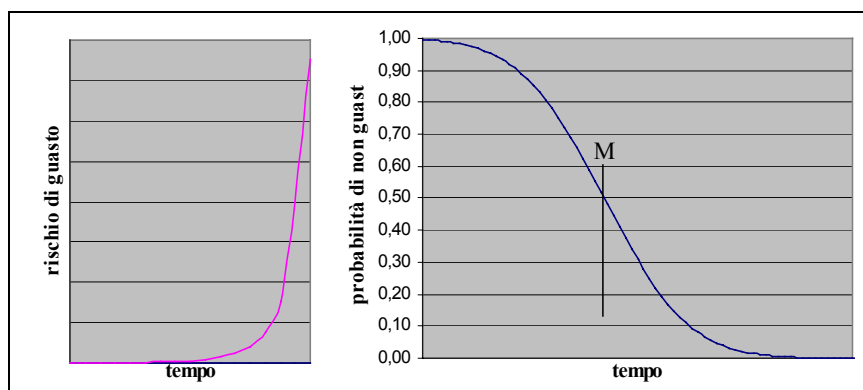


fig. 3.94. Andamento delle funzioni di Affidabilità durante l'Invecchiamento.

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(s) \cdot ds = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_t^{\infty} \exp\left(-\frac{(t-M)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) \cdot dt \quad \text{affidabilità al tempo } t \quad (3.39)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\exp\left(-\frac{(t-M)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)}{\int_t^{\infty} \exp\left(-\frac{(t-M)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) \cdot dt} \quad \text{tasso di guasto} \quad (3.40)$$

le cui corrispondenti rappresentazioni grafiche sono indicate in fig. 3.97.

La funzione di Gauss è definita fra $-\infty$ e $+\infty$, per cui può risultare l'incongruenza di dover considerare tempi negativi. In pratica si introduce l'approssimazione (largamente tollerata) che $f(t)=0$ per $t=0$, cioè quando σ è piccolo rispetto ad **M**. Comunque, nel caso

in cui $3 \cdot \sigma > M$, si può ricorrere alla distribuzione lognormale che definisce $f(t)=0$ per $t=0$:

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(\frac{(\ln t - M)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) \quad (3.41)$$

Probabilità condizionale di sopravvivenza. Ritornando alla nota definizione di probabilità condizionale di (3.31), essa ha lo scopo di determinare la probabilità che l'articolo compia la sua missione fra i tempi t_1 e t_2 (diversi da zero), cioè, dopo che l'articolo ha passato indenne il tempo t_1 , ed è la probabilità che esso mantenga la condizione di non guasto, già presente al tempo t_1 , fino al generico tempo t_2 :

$$R(t_1, t_2) = \frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{1 - \int_0^{t_2} f(t) \cdot dt}{1 - \int_0^{t_1} f(t) \cdot dt} = 1 - \frac{\int_{t_1}^{t_2} f(t) \cdot dt}{1 - \int_0^{t_1} f(t) \cdot dt} \quad (3.42)$$

Con questa notazione, l'affidabilità di un componente nella regione di usura, oltre che dal tempo di missione, dipende dalla sua età. Invece e come già visto in §3.6.2, nel caso di guasti casuali, cioè, quando $f(t)$ è esponenziale negativa e λ è costante, l'affidabilità dipendeva solamente dal tempo di missione.

3.6.7.3. Indicazioni del Tasso di Guasto dell'Articolo nelle Banche Dati.

In tab. 3.XXXVII è riportato un estratto di una tabella di dati di guasto reperita in letteratura. Come si può osservare, si tratta di articoli interessanti dal punto di vista della sicurezza e, quindi, necessariamente sottoposti a controlli statistici di affidabilità. Gli articoli principali osservabili in tabella sono di tipo idraulico, meccanico ed elettromeccanico.

Pur senza scendere nel dettaglio delle fasi di vita caratteristiche dell'articolo trattate in §3.6.7.2, in tab. 3.XXXVII sono indicati i limiti inferiore e superiore della durata dell'articolo e la mediana della curva di frequenza rilevata statisticamente con riferimento alla situazione di guasto indicata dall'estensore della Banca di Dati.

3.6.7.4. Affidabilità di un Sistema con Articoli in Serie

In molti casi non si è in presenza di un solo articolo ma di un insieme, connesso in modo da soddisfare le necessità. Quindi si presenta il problema della stima dell'affidabilità dell'intero sistema.

tab. 3.XXXIX. Alcuni dati di rischio di guasto di articoli meccanici, ricavati dalle banche dati.¹¹

	Modo di rottura	Mediana di campo	Limiti inferiore - superiore
Innesto elettrico	Mancata attivazione	$3 \cdot 10^{-4} / d$	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3}$
	Procedura interrotta	$1 \cdot 10^{-6} / h$	$1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-3}$
Innesto meccanico	Mancata attivazione	$3 \cdot 10^{-7} / h$	$3 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-6}$
	Mancata operazione	$3 \cdot 10^{-4} / d$	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3}$
Estintore	Mancata attivazione	$1 \cdot 10^{-4} / d$	$3 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-4}$
Motore elettrico	Mancato avviamento	$3 \cdot 10^{-4} / d$	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3}$
	Mancato funzionamento	$1 \cdot 10^{-3} / h$	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$
	Mancato funzionamento – ambiente estremo	$1 \cdot 10^{-3} / h$	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3}$
Relé	Mancato contatto	$1 \cdot 10^{-4} / d$	$3 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4}$
	Mancata commutazione NO - chiuso	$3 \cdot 10^{-7} / h$	$1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-6}$
	Corto circuito NO/NC	$1 \cdot 10^{-8} / h$	$1 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-7}$
	Contatto NC aperto	$1 \cdot 10^{-7} / h$	$3 \cdot 10^{-8} \div 3 \cdot 10^{-7}$
Interruttore	Limite: mancata operazione	$3 \cdot 10^{-4} / d$	$3 \cdot 10^{-6} \div 3 \cdot 10^{-5}$
	Coppia: mancata apertura	$1 \cdot 10^{-4} / d$	$3 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^{-4}$
	Pressione: mancata apertura	$1 \cdot 10^{-4} / d$	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$
	Comando comm. manuale fallisce	$1 \cdot 10^{-3} / d$	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$
	Corto dei contatti	$1 \cdot 10^{-7} / h$	$1 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-6}$
	Mancata commutazione	$1 \cdot 10^{-3} / d$	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$
Pompa	Mancato funzionamento	$3 \cdot 10^{-3} / h$	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$
	Mancato funzionamento – ambiente estremo	$1 \cdot 10^{-3} / h$	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3}$
Valvola manuale	Mancato funzionamento otturatore	$1 \cdot 10^{-3} / d$	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$
	Mancata apertura	$1 \cdot 10^{-2} / d$	$3 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-2}$
	Perdita esterna – rottura	$1 \cdot 10^{-8} / h$	$1 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-7}$
Valvola solenoide	Mancata apertura	$1 \cdot 10^{-3} / d$	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$
Valvola automatica	Mancato funzionamento	$3 \cdot 10^{-4} / d$	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3}$
	Mancato funzionamento otturatore	$1 \cdot 10^{-4} / d$	$3 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-2}$
	Perdita esterna – rottura	$3 \cdot 10^{-8} / h$	$1 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-7}$
Valvola di non ritorno	Mancata apertura	$1 \cdot 10^{-4} / d$	$3 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-4}$
	Flusso inverso	$3 \cdot 10^{-7} / h$	$1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-8}$
	Perdita esterna – rottura	$1 \cdot 10^{-8} / h$	$3 \cdot 10^{-9} \div 3 \cdot 10^{-7}$
Valvola manuale da vuoto	Mancato funzionamento otturatore	$3 \cdot 10^{-3} / h$	$1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3}$
	Rottura	$1 \cdot 10^{-8} / h$	$1 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-7}$
	Rottura dell'orifizio di misura di flusso (in prova)	$1 \cdot 10^{-8} / h$	$1 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-7}$

¹¹ E. J. Henley and H. Kunamoto, *Reliability Engineering and Risk Assessment*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1981

Siano:

- $i = 1, 2, \dots, n$ gli articoli del sistema;
 R_i affidabilità dell'articolo i -esimo;
 R_s affidabilità del sistema,

i parametri degli articoli e dell'intero sistema, essendo gli articoli collegati in serie dal punto di vista dell'Affidabilità, come schematizzato in fig. 3.98. Siamo nel caso in cui il guasto di un singolo articolo determina il blocco dell'intero sistema, quindi:

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

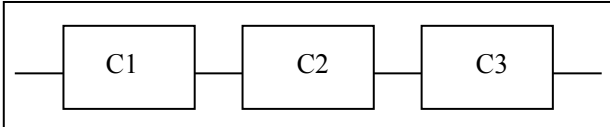
$$R_s(t) = \sum_1^n \exp\left(-\int_0^t \lambda_s(t) \cdot dt\right) = \prod_{i=1}^n \exp\left(-\sum_1^n -\int_0^t \lambda_i(t) \cdot dt\right)$$


fig. 3.95. Articoli di un sistema, collegati in **serie** dal punto di vista dell'affidabilità.

In definitiva vale la:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad (3.43)$$

ed il tasso di guasto del sistema è pari alla somma dei tassi di guasto dei suoi componenti.

3.6.7.5. Affidabilità di un Sistema con Articoli in Parallelo

Si parla di struttura parallela quando le funzioni vengono moltiplicate fra più articoli. Essa risulta suddivisa nel modo seguente:

Sistema a Ridondanza Semplice. Come indicato in fig. 3.99, gli articoli operano in parallelo e contemporaneamente, ma il sistema può funzionare a pieno regime anche se ne lavora uno solo, od un certo numero di essi.

Definiamo:

$$F = 1 - R$$

l'**inaffidabilità** o la probabilità di guasto. Dato che il sistema è guasto quando sono inutilizzabili tutti gli articoli, vale la:

$$F_s(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t),$$

quindi:

$$R_S(t) = 1 - F_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (3.44)$$

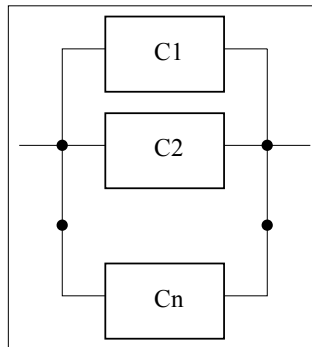


fig. 3.96. Articoli di un sistema, collegati a ridondanza semplice in **parallelo** dal punto di vista dell'affidabilità. Esempi: a) 2 pompe in grado di dare ciascuna la portata richiesta, ma usualmente impiegate contemporaneamente a metà carico, b) 2 motori di un quadrimotore, quando 2 soli di essi sono in grado di sostenere l'aereo.

Esempio

Si abbiano 2 elementi in parallelo a ridondanza semplice, caratterizzati dai seguenti indici: globalmente, risulta:

Come era lecito attendersi, l'impiego di elementi in parallelo a ridondanza semplice eleva il tasso di affidabilità dell'insieme. Nel caso di 2 elementi con λ uguale e costante si dimostra che:

$$MTTF_s = \frac{3}{2\lambda}$$

Sistema con Ridondanza a Funzionamento Sequenziale. Come indicato in fig. 3.100, in questo caso e ad un determinato istante il sistema è in funzione solamente se è in funzione uno degli articoli costituenti il sistema, mentre gli altri fungono da riserva e vengono inseriti da un organo di decisione e commutazione (DC), al verificarsi di uno stato di guasto.

Per calcolare l'affidabilità del sistema S al tempo t , vediamo in quali casi S è in stato di non guasto (considerando DC perfettamente affidabile). Basandoci sullo schema di fig. 3.101, risulta che:

Probabilità totale = probabilità evento 1 + probabilità evento 2

$$R_S = R_a(t) + \int_0^t f_A(s) \cdot ds \cdot R_B(t-s)$$

e, se $\lambda_A = \lambda_B = \lambda$, si ottiene:

$$R_s(t) = e^{-\lambda(t)} \cdot (1 + \lambda t)$$

$$(MTBF)_s = N \cdot \frac{1}{\lambda}$$

con N componenti in parallelo

(3.45)

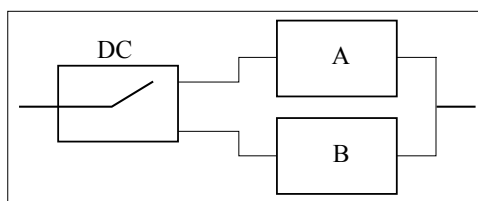


fig. 3.97. Articoli di un sistema collegati in ridondanza a funzionamento sequenziale, in parallelo dal punto di vista dell'affidabilità. Esempi: a) doppio sistema di alimentazione del combustibile di un generatore di vapore, b) gruppo elettrogeno di riserva per la generazione di energia elettrica, c) ruota di scorta autovettura.

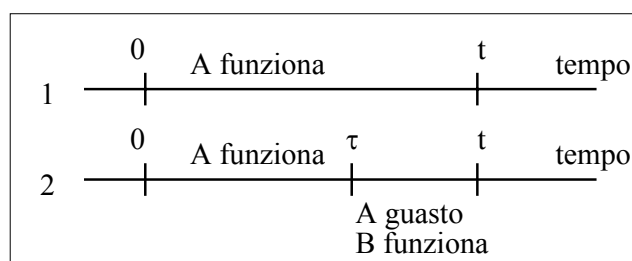


fig. 3.98. Caso di stato di **guasto** di un articolo e subentro sequenziale di quello di scorta.

3.6.8. Manutenibilità e Disponibilità

3.6.8.1. Manutenibilità di un Articolo

Fin qui si è parlato del guasto dell'articolo. Ora si vuol porre l'attenzione sui successivi interventi di riparazione o sostituzione necessari per ripristinare l'operatività dell'impianto. Definiamo t_r come il tempo di riparazione (o intervento).

Anche t_r come il tempo di guasto) è variabile e quindi si può scrivere la funzione densità di probabilità $f(t_r)$:

$$F(t_r) = \int_0^{t_r} f(s_r) \cdot ds_r$$

che è la probabilità che l'intervento di manutenzione termini entro il tempo t_r , ed è definita **manutenibilità** al tempo t_r . Analogamente al tempo di guasto $\lambda(t)$, il **tasso di manutenibilità** $\mu(t_r)$ è:

$$\mu(t_r) = \frac{f(t_r)}{R(t_r)} = \frac{f(t_r)}{1 - F(t_r)} \quad (3.46)$$

Ricordiamo anche MTTR (mean time to repair) di §2.2.3, che rappresenta la durata media della riparazione:

$$MTTR = \frac{\int_0^{\infty} f(t_r) \cdot t_r \cdot dt_r}{\int_0^{\infty} f(t_r) \cdot dt_r} = \int_0^{\infty} f(t_r) \cdot t_r \cdot dt_r \quad (3.47)$$

Esistono diverse formulazioni di $f(t_r)$, tra le quali una delle più impiegate è la distribuzione normale di Gauss di fig. 3.94. Un'altra distribuzione molto impiegata è la *lognormale*, per la quale ad essere distribuito in modo gaussiano è il logaritmo dei tempi di riparazione

$$f(t_r) = \frac{1}{\sigma \cdot t_r \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln t_r - m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{con } i=1, 2, \dots, N \text{ ed } m = \sum_{i=1}^N \frac{\ln t_r}{N}$$

ed in cui, mediando, risulta infine che:

$$MTTR = \exp(m + \sigma^2 / 2)$$

3.6.8.2. Manutenibilità di un Sistema

Si ripropone il problema di determinare la manutenibilità, ora di un sistema complesso formato da più articoli, considerando $t_{r,i}$ tempo medio di riparazione o sostituzione dell'articolo i -esimo e λ_i tasso di guasto.

Il tempo di riparazione complessivo tiene conto della durata degli interventi elementari, opportunamente pesati con l'incidenza di tale guasto, sotto forma del relativo tasso:

$$(MTTR)_S = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_{r,i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3.48)$$

3.6.8.3. Disponibilità di un Articolo Riparabile

L'affidabilità è il parametro guida al primo guasto. Nel caso degli impianti industriali, generalmente si hanno apparecchiature che nella loro vita percorrono diversi *cicli di funzionamento-guasto-riparazione*. Siano T_i i tempi di funzionamento e τ_i quelli di fermo per guasto e riparazione. L'andamento nel tempo della vita dell'articolo è rappresentata in fig. 3. 102.

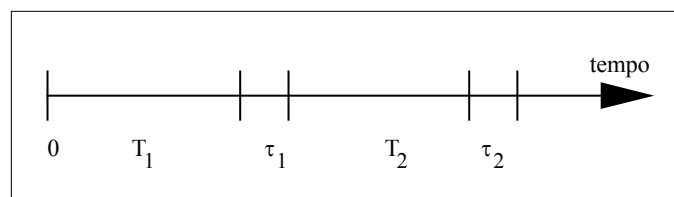
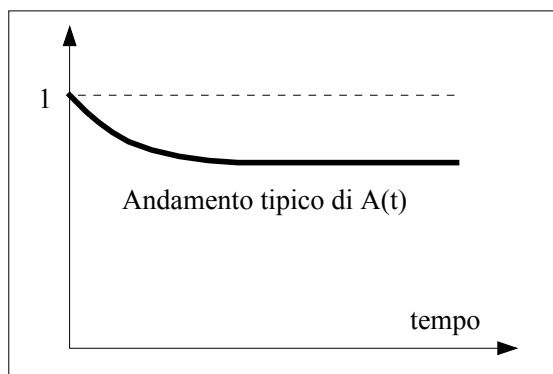


fig. 3.99. Cicli di funzionamento di un articolo.

fig. 3.100. Disponibilità asintotica **A**:valore asintotico della disponibilità puntuale.

In questi casi si dimostra molto più significativo l'impiego di una grandezza che tenga conto non solo della frequenza dei guasti, ma anche della rapidità delle successive riparazioni. Questa grandezza prende il nome di **disponibilità** e di essa si possono definire i due seguenti tipi diversi:

La **disponibilità puntuale** **A(t)**, che è la probabilità che all'istante **t** il componente sia in funzione, indipendentemente dal fatto che possa essersi guastato in precedenza:

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu) \cdot t} \quad (3.49)$$

essendo, al solito, λ il tasso di guasto e μ il tasso di manutenibilità.

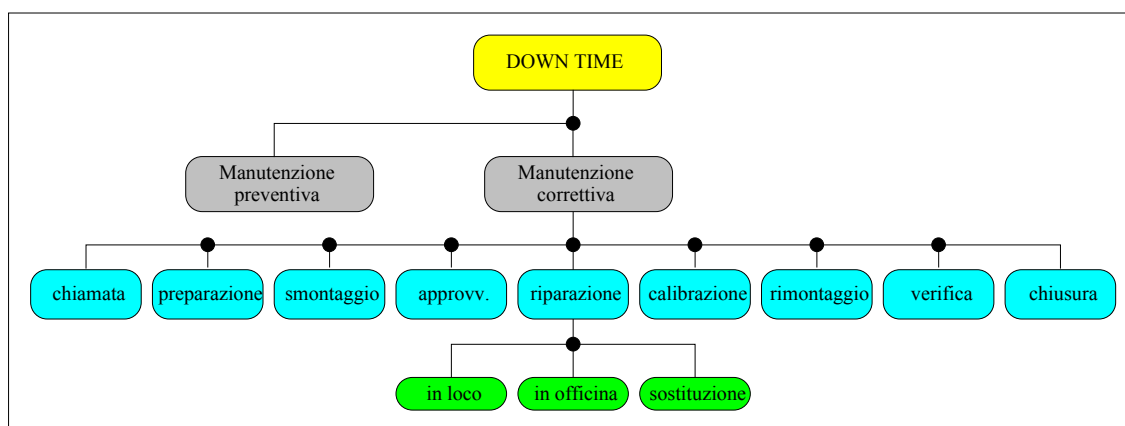


fig. 3.101. Analisi di dettaglio del Down Time dell'articolo.

La **disponibilità asintotica** **A** (valore asintotico della disponibilità puntuale), definita dalla:

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t)$$

il cui andamento è riportato in fig. 3.103. Come anticipato in §2.2.3, il valore asintotico **A** è di gran lunga il più utilizzato in campo industriale in quanto può essere espresso, molto semplicemente, come rapporto tra il tempo di effettivo funzionamento, Up Time (UT), e quello totale di missione, Up Time + Down Time (DT). In definitiva:

$$A = \frac{UT}{UT + DT} = \frac{\sum_1^N T_i}{\sum_1^N T_i + \sum_1^N \tau_i} = \frac{\sum_1^N \frac{T_i}{N}}{\sum_1^N \frac{T_i}{N} + \sum_1^N \frac{\tau_i}{N}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.50)$$

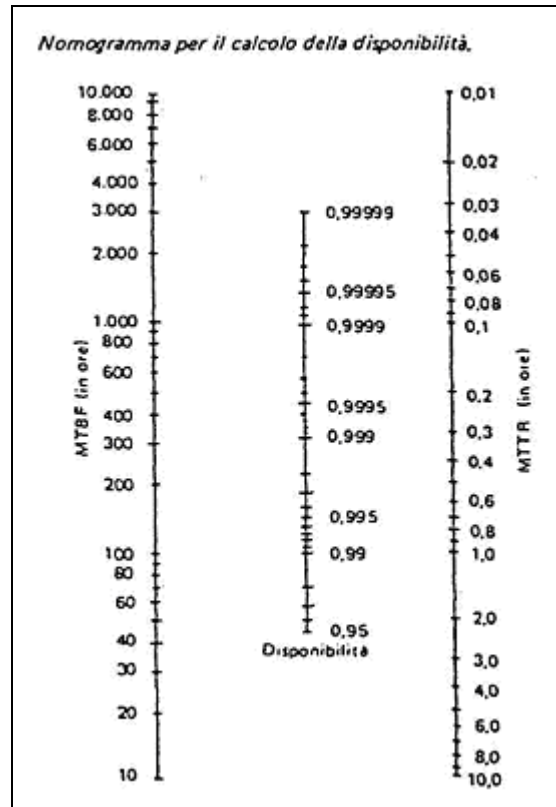


fig. 3.102. Abaco di calcolo della disponibilità.

Le voci che concorrono alla determinazione del down time dipendono dalla fattispecie in esame, comunque generalmente si ha lo schema di fig. 3.104. In letteratura si possono trovare curve di disponibilità od, in alternativa, abachi del tipo di fig. 3.105, che ne permettono un calcolo immediato, noti MTBF e MTTR. Il tempo per la manutenzione preventiva va considerato solo se tali interventi vengono effettuati all'interno dell'orario di lavoro, anzi esso può essere sovrapposto ad un intervento correttivo, in modo da approfittare dei fermi imprevisti ed ineliminabili.

3.6.8.4. Disponibilità di un Sistema

Anche al fine di determinare la disponibilità globale di un insieme di articoli di cui si conoscono gli indici di affidabilità, bisogna necessariamente fare delle ipotesi distintive:

Componenti in Serie. Questo scenario è contraddistinto dal fatto che l'indisponibilità di un solo articolo provoca l'inutilizzabilità dell'intero sistema. In questo caso:

$$A_s = \prod_i^n A_i \quad (3.51)$$

Componenti in Parallelo di Tipo Ridondante (semplice o sequenziale). Definiamo:

$I_i = 1 - A_i$ indisponibilità dell'articolo i-esimo ;

$I_s = 1 - A_s$ indisponibilità del sistema.

Valgono le seguenti:

$$\begin{aligned} I_s &= \prod_{i=1}^n I_i \\ A_s &= 1 - I_s = 1 - \prod_{i=1}^n I_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \end{aligned} \quad (3.52)$$

Componenti in Parallelo di Tipo non Ridondante (efficienza). Questa condizione è molto diffusa. Infatti, essa è vera quando si hanno macchine o sottosistemi (in breve, articoli) in parallelo, che svolgono la stessa funzione. Nel caso in cui anche uno solo uno di essi diventi indisponibile, si ha una diminuzione della potenzialità globale del sistema. Si ricorra ancora al concetto di Spazio delle Fasi e sia:

N numero degli stati di funzionamento possibili per il sistema;

p_i probabilità che ha il sistema di trovarsi nello stato i-esimo;

q_i potenzialità, in termini relativi rispetto a quella nominale, nel generico stato i-esimo.

Vale la seguente:

$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^N p_i} \quad (3.53)$$

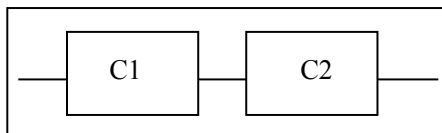
Esempio

Supponiamo di avere 2 elementi in serie dal punto di vista dell'affidabilità e siano A_1 ed A_2 i loro indici di disponibilità:

$$A_1 = 0.951 \quad A_2 = 0.900$$

La disponibilità del sistema è il prodotto delle disponibilità degli articoli:

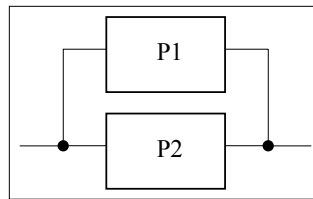
$$A_s = A_1 \cdot A_2 = 0.951 \cdot 0.900 = 0.856$$



Esempio

Immaginiamo di avere 2 presse di uguale disponibilità, ciascuna capace di realizzare separatamente la produzione richiesta. Normalmente, esse sono impiegate in parallelo per produrre metà della richiesta. Si fa riferimento allo spazio delle fasi e determinare la probabilità che 1 od en-

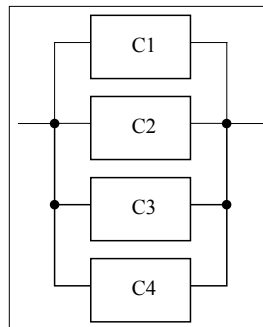
trambe siano non disponibili mediante il fattore I_p , ricavato dalle possibili combinazioni dei propri stati.



Se la disponibilità delle presse è per entrambe $A_{P1} = A_{P2} = 0.850$, l'indisponibilità di ognuna di esse è $I_{P1} = I_{P2} = (1 - A) = 1 - 0.850 = 0.150$. La probabilità che entrambe siano indisponibili è $I_S = I_{P1} \cdot I_{P2} = 0.022$ e la disponibilità del sistema risulta $A_S = 1 - I_S = 1 - 0.022 = 0.978$

Esempio

Supponiamo di avere 4 vie a rulli parallele ed uguali, che realizzano il trasporto del semilavorato tra due fasi di un processo produttivo. La capacità di trasporto complessiva sia esattamente quella richiesta, cioè non vi sia ridondanza. La disponibilità di ognuna di esse sia $A_C = 0.9893$



stato	unità		probabilità dello stato i	produzione	disponibilità
	non guasto	guasto			
1	4	0	$A_{Ci}^4 = 0.9579$	100%	0.9579
2	3	1	$4 \cdot A_{Ci}^3 \cdot (1 - A_{Ci}) = 0.0413$	75%	$0.0413 \cdot 0.75 = 0,031$
3	2	2	$6 \cdot A_{Ci}^2 \cdot (1 - A_{Ci})^2 = 0.0008$	50%	$0.0008 \cdot 0.5 = 0.0004$
4	1	3	$4 \cdot A_{Ci}^1 \cdot (1 - A_{Ci})^3 = 0$	25%	0
5	0	4	$(1 - A_{Ci})^4 = 0$	0%	0
totali			1.0000		0.9893

Come riportato in tabella, le probabilità dello stato del sistema sono frutto delle relative combinazioni di articoli funzionanti sul totale di 4:

$$\binom{4}{3} = \frac{4!}{3!(4-3)!} = 4 \quad \text{con:} \quad \binom{n}{a} = \frac{n!}{a!(n-a)!}$$

La disponibilità dell'intero sistema si ricava con la compilazione della tabella.

3.6.9. Politiche di Manutenzione Preventiva

Come si vede in fig. 3.106, il costo totale annuo di una macchina, dovuto alla **funzione manutentiva**, fondamentalmente si compone di due addendi: il costo per gli interventi correttivi e quello delle azioni preventive e/o di ispezione.

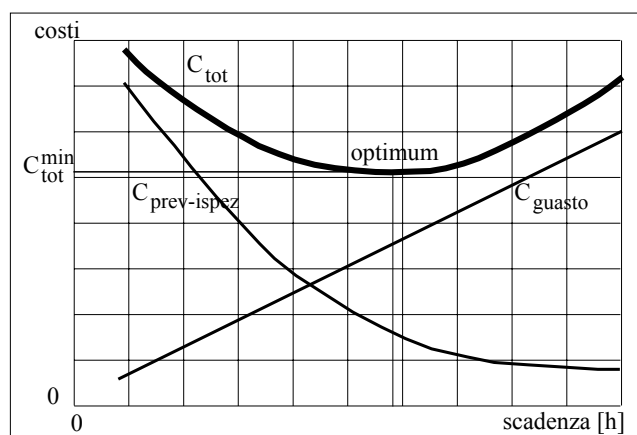


fig. 3.103. Ottimizzazione della funzione preventiva.

Intuitivamente si capisce come, se si aumenta il numero degli interventi del secondo tipo, cioè se ne riduce la **scadenza**, si consegue una minore frequenza di guasto, e quindi un minor peso economico di questo aspetto; ma, d'altra parte, si ha un accrescimento degli oneri annui dovuti alla **prevenzione**. Visto che l'andamento dei due termini è in controtendenza, il problema dell'ottimizzazione della scadenza fra due interventi preventivi successivi si riconduce alla determinazione del miglior compromesso, come si vede in fig. 3.106, vale a dire della situazione che presenta il minimo costo annuo totale.

3.6.9.1. Politiche di Rinnovo del Singolo Articolo

Prima di iniziare l'analisi di alcune possibili politiche bisogna enunciare alcune ipotesi:

- l'articolo sia bistabile: guasto o non guasto;
- si sia continuamente informati sullo stato dell'articolo;
- l'intervento di manutenzione ne ristabilisca completamente la funzionalità;
- il guasto riduca a zero la produttività.

3.6.9.1.1. Sostituzione ad Età Costante

L'articolo viene sostituito allorché ha raggiunto un'età predeterminata **T** a partire dall'ultima riparazione, ovvero a guasto se tale stato si verifichi prima del raggiungimento dell'età, cioè all'interno dell'intervallo di durata **T**. Il problema consiste quindi nella determinazione della durata **T** ottima. Per le considerazioni fatte ed il significato probabilistico di media, si può definire la vita media del componente $\mu(T)$ anche con la:

$$\mu(T) = \int_0^T t \cdot f(t) \cdot dt + \int_T^{\infty} T \cdot f(t) \cdot dt \quad (3.54)$$

con $f(t)$: densità di probabilità di guasto. Siano:

- C_e** il costo dell'intervento a guasto (in emergenza);
C_p il costo dell'intervento di rinnovo preventivo, ($C_e > C_p$);
C il costo dell'intervento per unità di tempo.

$$C(T) = \frac{C_e \cdot F(T) + C_p \cdot R(T)}{\mu(T)} \quad (3.55)$$

con $F(T)$: probabilità cumulativa di guasto ed $R(T)$ affidabilità. L'obiettivo è la determinazione della durata T^* che rende minimo $C(T)$:

$$\frac{dC(T)}{dT} = 0 \rightarrow \lambda(T) \cdot \int_0^T R(t) \cdot dt + R(T) = \frac{C_e}{C_e - C_p} \quad (3.56)$$

dalla quale si ricava la durata T^* cercata.

3.6.9.1.2. Sostituzione a Data Costante

In alternativa alla politica manutentiva precedente, molto semplicemente la sostituzione a data costante consiste nella sostituzione sistematica dell'articolo ad una scadenza prefissata, indipendentemente dall'età del componente stesso, oppure, ovviamente, in corrispondenza del verificarsi di un guasto. Pertanto, ai fini della determinazione dei parametri caratteristici di tale politica, diventa fondamentale determinare il numero di guasti $H(t)$ che ci si attende si verifichino fra due sostituzioni preventive. $H(t)$ viene calcolata in base alle proprietà probabilistiche della funzione densità di probabilità di guasto che viene adottata per ciascun caso reale. Assumendo i simboli di §3.6.9.2, il costo medio nell'unità di tempo sarà:

$$C(t) = \frac{C_p + C_e \cdot H(T)}{t} \quad (3.57)$$

Ancora una volta l'obiettivo è la determinazione della scadenza t^* che rende minimo il costo $C(t)$.

3.6.9.2. Politiche di Rinnovo nel Caso di Più Componenti

Diversi sono i tentativi di individuare politiche ottimali di sostituzione preventiva, applicabili a sistemi complessi. Sebbene lo sviluppo di tali modelli sia interessante, tuttavia si basano sull'ipotesi fondamentale di considerare i sistemi formati da articoli il cui comportamento è mutuamente indipendente. Tale ipotesi risulta poco realistica nella maggioranza degli impianti industriali.

Di conseguenza attualmente vengono implementati modelli *ibridi* tendenzialmente dinamici (cioè modificati in relazione all'invecchiamento dell'impianto), dedicati a ciascuna realtà aziendale.

3.6.10. Politiche Ispettive

Fino ad ora si è fatto riferimento ad un comportamento *bistabile* (on-off) delle macchine. Nei casi concreti spesso il processo di transizione dallo stato di perfetta funzionalità a quello di guasto totale evolve attraverso stati intermedi, con un progressivo degrado delle prestazioni. Inoltre, non sempre le informazioni circa l'esatta condizione della

macchina sono note. In questo quadro è giustificata una politica di *ispezioni successive* che permettano di esprimere un giudizio sulle condizioni della macchina e quindi sulla sua necessità di riparazione.

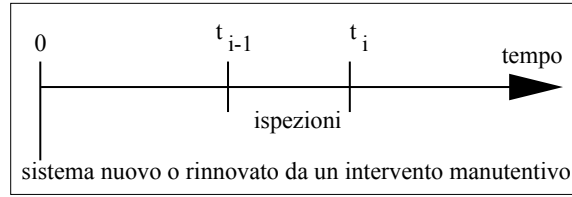


fig. 3.104. Andamento degli interventi secondo la politica ispettiva.

Ad ogni ispezione è ovviamente associato un costo C_i . Inoltre, è logico sostenere che il costo legato al guasto sia proporzionale al tempo intercorrente fra l'istante del suo accadimento e l'istante della scoperta di questo evento, cioè l'ispezione successiva. La politica ottimale sarà quella che fissa la **scadenza** delle ispezioni in modo da minimizzare il costo totale.

Si immagini una politica ispettiva che mantenga costante ed uguale a p la probabilità condizionata di guasto fra due ispezioni successive ($i-1$ ed i). Cioè si imponga che:

$$\frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{R(t_{i-1})} = p = \text{cost}$$

con $F(t)$ probabilità cumulata di guasto. La probabilità che il guasto si edifichi tra le ispezioni $i-1$ ed i è data dal prodotto della probabilità condizionale che il guasto non sia avvenuto prima (cioè in $i-1$ intervalli di durata variabile, ma con probabilità di guasto costante p), per la probabilità condizionale che avvenga fra $i-1$ ed i ; cioè:

$$F(t_i) - F(t_{i-1}) = (1-p)^{i-1} \cdot p$$

Il numero medio μ_i di ispezioni fino al guasto è allora:

$$\mu_i = \sum_{i=1}^{\infty} (1-p)^{i-1} \cdot p = \frac{1}{p}$$

quindi la funzione costo assume la seguente veste:

$$C_{\text{tot}} = C_i \cdot \mu_i + C_g \cdot p + C_p \cdot (1-p) = \frac{C_i}{p} + C_g \cdot p + C_p \cdot (1-p)$$

con C_g costo del guasto e C_p costo dell'intervento preventivo. Cercando il minimo, si ottiene:

$$\frac{dC_{\text{tot}}}{dp} = 0 \rightarrow -\frac{C_i}{p^2} + C_g - C_p = 0 \rightarrow p^* = \sqrt{\frac{C_i}{C_g - C_p}} \quad (3.58)$$

3.6.10.1. Zona dei Guasti Accidentali (*vita utile ed $f(t)$ esponenziale*)

In questo intervallo della vita dell'articolo, la legge degli accadimenti di guasto è di tipo esponenziale negativa con tasso di guasto costante. Come è noto, ne deriva:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda \cdot t) = p \rightarrow \lambda \cdot t = -\ln(1 - p) = \frac{t}{\text{MTBF}} \quad (3.59)$$

quindi - conoscendo **Ci**, **Cg**, **Cp** ed MTBF - si può ricavare il tempo **t** di ispezione.

Esempio

Siano: $C_i=70\text{€}$ $C_p=3.200\text{€}$ $C_g=8.000\text{€}$ $\text{MTBF}=1000\text{h}$. Dalle (3.58) e (3.59):

$$p = \sqrt{\frac{C_i}{C_g - C_p}} = \sqrt{\frac{70}{4.800}} = 0.121 \rightarrow t = -\text{MTBF} \cdot \ln(1 - p) = 129\text{h}$$

Quindi, la prima ispezione va effettuata 129h dopo un intervento od una sostituzione che ha messo a nuovo il macchinario. Le ispezioni successive avverranno ad intervalli costanti (poiché siamo nella *vita utile*) e pari a 129h fino all'insorgere del guasto.

3.6.10.2. Zona dei Guasti per Usura (invecchiamento ed $f(t)$ gaussiana).

Si intuisce chiaramente come, in questa fase della vita dell'articolo, le ispezioni dovranno essere sempre più frequenti in dipendenza dell'aumento del rateo di guasto. Il risultato della particolare trattazione teorica necessaria indica che il tempo dell'*i*-esima ispezione è:

$$t_i = \text{MTBF} + Z_i \cdot \sigma \quad (3.60)$$

I valori della costante **Zi** sono tabellati in funzione dell'ordine di ispezione (qui espresso fino alla 6^a) e del rapporto:

$$p = \sqrt{\frac{C_i}{C_g - C_p}} \quad (3.61)$$

tab. 3.XL. Costanti per il calcolo della frequenza delle ispezioni durante l'invecchiamento dell'articolo.

p	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
0.0985	- 1.290	- 0.085	- 0.620	- 0.425	- 0.240	- 0.090
0.1734	- 0.940	- 0.480	- 0.165	0.085	0.290	0.470
0.2234	- 0.760	- 0.262	- 0.080	0.348	0.575	0.777
0.2628	- 0.635	- 0.110	0.250	0.540	0.780	0.990
0.2956	- 0.540	- 0.010	0.390	0.690	0.940	1.160
0.3103	- 0.500	0.060	0.450	0.750	1.010	1.240
0.4927	- 0.020	0.650	1.120	1.505	1.890	2.301
0.5897	0.225	0.960	1.485	1.770	2.270	2.590
0.6538	0.401	1.180	1.735	2.190	2.580	2.920
0.7001	0.925	1.340	1.930	2.395	2.820	3.180
0.7189	0.580	2.401	2.010	2.505	3.320	3.500
0.8278	0.945	1.890	2.573	3.190	3.620	4.060
0.8769	1.160	2.165	2.760	3.512	4.030	4.532
0.9069	1.310	2.328	3.135	3.770	4.310	4.902
0.9229	1.430	2.520	3.307	3.980	4.453	5.102

Esempio

Siano:

$$MTBF = 600h \quad C_p = 1.000€ \quad C_g = 3.500€$$

$$\sigma = 500h \quad C_i = 120€$$

Utilizzando in prima approssimazione la (3.61), ricaviamo:

$$p = \sqrt{\frac{120}{2500}} = 0.219 \approx p = 0.2234$$

ed, adottando i valori corrispondenti sulla stessa riga delle successive colonne di tab. 3.XXXVII, risultano dalla (3.60):

$p=0.2234$	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Z_i	-0.760	-0.262	0.180	0.348	0.575	0.777
Isp_i	220h	469h	690h	774h	887h	988h
$t_i - t_{i-1}$		249h	221h	214h	113h	101h

Nel caso in cui, a seguito di un'ispezione, si decida di intervenire preventivamente con la riparazione o sostituzione, l'ispezione successiva avverrà dopo ($t_i - t_{i-1}$).

3.6.11. La Gestione dei Ricambi

Nella realtà industriale spesso si trascura l'aspetto dell'approvvigionamento dei ricambi, in quanto è abituale, data la complessità degli impianti, rimandare a guasto avvenuto il reperimento del materiale tecnico occorrente, naturalmente, generando importanti oneri di mancanza di produzione. D'altra parte, vale la considerazione che un magazzino di pezzi di ricambio può rappresentare un grande immobilizzo di denaro. Ancora una volta si tratta di ricercare il miglior compromesso fra le perdite derivanti dalla fermata dell'impianto e l'onere di stoccaggio corrispondente. I materiali tecnici (pezzi di ricambio) solitamente presentano queste caratteristiche :

- consumi ridotti,
- utilizzi sul medio/lungo termine,
- impieghi specifici se non esclusivi,
- lenta rotazione,
- consumo spesso imprevedibile e/o accidentale,
- elevati oneri di stoccaggio.

3.6.11.1. Codifica dei Ricambi

Lo scopo principale della codifica è quello di identificare in modo chiaro ed univoco il pezzo. Solamente dopo aver adeguatamente risolto la questione della rintracciabilità delle parti, si può avviare una corretta gestione della ricambistica.

Il codice deve individuare allo stesso modo pezzi *identici* fra loro, altrimenti non si parla di numero di codice, ma di numero di matricola. I vari sistemi di codifica possono essere suddivisi in tre grandi categorie:

codici progressivi. Una volta determinata la classe di appartenenza (ad esempio con 3 lettere iniziali) vengono elencati progressivamente (ad esempio in ordine cronologico) tutti i ricambi. Si tratta di un sistema molto semplice da costruire, ma altrettanto

oneroso da gestire, in quanto si presenta impossibile raggruppare materiali simili, ed, inoltre, c'è il forte pericolo di assegnare più codici allo stesso particolare;

codici funzionali. Si dividono i ricambi in base alla funzione cui sono dedicati (in pratica la macchina su cui sono montati). Questo sistema favorisce la rintracciabilità fisica del pezzo, ma induce alla costruzione di scorte multiple;

codici descrittivi. Sono complessi da creare e gestire, in quanto presentano per ciascun ricambio un elevato numero di informazioni, tali da renderlo unico ed inequivocabile, ad esempio la classe, la sottoclasse, le caratteristiche tecniche (es: dimensioni, portate, potenze, ecc.).

3.6.11.2. Classificazione dei Ricambi

In pratica, si deve effettuare una tipizzazione dei ricambi, in relazione alle loro caratteristiche costruttive e di impiego, onde scegliere metodologie di gestione diverse ed appropriate. Le principali variabili da tenere in considerazione sono:

criticità di impiego, che si riferisce ai danni causati dalla rottura del pezzo, ad esempio in termini di mancata produzione, danneggiamenti a persone e cose, ecc;

tipo del processo fisico, che determina la richiesta del ricambio, cioè se si parla in termini di usura, si può far riferimento alla fatica piuttosto che al guasto accidentale;

intensità del consumo. I consumi annuali seguono generalmente la legge di Pareto, come rappresentato in fig. 3.108. Ciò vuol dire che la maggior parte dei componenti di una macchina ha un consumo annuale basso, mentre pochi di essi hanno un consumo tale da assorbire la maggior parte del totale. Analogo discorso è valido per il consumo valorizzato con i rispettivi costi.

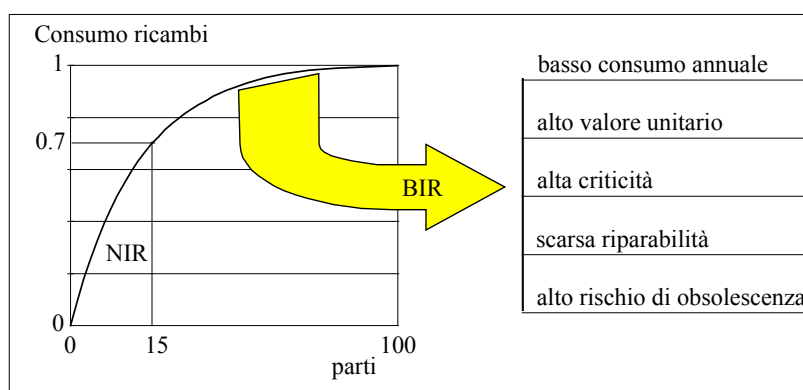


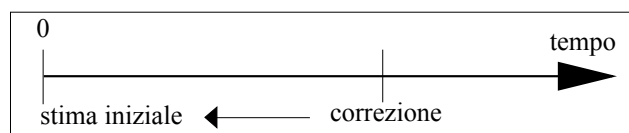
fig. 3.105. Distribuzione dell'impiego di ricambi nel Diagramma di Pareto e caratteristiche dei ricambi BIR.

In virtù di queste considerazioni i ricambi vengono suddivisi in *ricambi a basso indice di rotazione (BIR)*, il cui consumo è orientativamente di 0÷1 unità/y, e *ricambi a indice di rotazione normale (NIR)*. Tale suddivisione è giustificata dalle differenti tecniche di gestione che si seguono nei due casi. Di solito si fa riferimento al costo di acquisto, ma, come detto sopra, la valutazione del costo dei ricambi è molto più complessa. Le caratteristiche dei ricambi a basso indice di rotazione sono schematicamente riportate in fig. 3.109.

3.6.11.3. **Valutazione della Riserva**

In qualsiasi problema di gestione delle scorte, il parametro fondamentale dal quale partire è l'entità del consumo. Nel caso degli impianti industriali, il problema si complica ulteriormente in quanto, *in fase di avviamento*, si devono fare stime senza il supporto dei dati storici. Le vie per poter ottenere questi dati all'inizio della vita del componente possono essere:

- lo sfruttamento dell'esperienza del costruttore (quando è presente ed ottenibile),
- la valutazione delle prestazioni di impianti analoghi,
- l'esperienza del personale addetto.



Fatta una stima di partenza, mano a mano che l'impianto fornisce dati, si può prevedere un suo adattamento attraverso tecniche ottimizzanti, come ad esempio quella bayesiana. Secondo il teorema di Bayes si può affermare che la stima corrente delle richieste di pezzi è uguale alla stima iniziale moltiplicata per un fattore correttivo, desunto dalle informazioni che provengono dall'esercizio. In formula:

$$C_f = \frac{C_i(y+1)}{T \cdot C_i + 1}$$

dove: C_f è il consumo aggiornato in base alle richieste effettive, C_i è il consumo iniziale stimato, y è il consumo accertato nel tempo T , essendo T il tempo intercorso dalla stima iniziale. È ovvio che migliori sono le stime iniziali, maggiore è la velocità con la quale si converge al valore *vero* del consumo.

Una volta valutato il consumo rimane la scelta del tipo e del numero di pezzi di ricambio da mantenere a magazzino.

3.6.11.4. **Ricambi BIR, a Bassa Rotazione**

Sono state proposte diverse metodologie per la gestione del livello delle scorte tra cui:

criterio a grado di rischio accettato. Consiste nel fissare a priori il rischio di andare sottoscorta, e, procedendo a ritroso con un modello matematico che descriva probabilisticamente il consumo, determinare il numero di ricambi che producono quel valore del livello di servizio. Usualmente, viste le caratteristiche di accidentalità del guasto e di rarità dell'evento, si impiega una distribuzione di Poisson. Quindi, i dati di ingresso sono il grado di rischio tollerato ed i valori dei parametri del modello di guasto del componente in esame. Questo metodo viene impiegato quando difficoltà intrinseche o lo scarso valore del capitale immobilizzato non permettono o sconsigliano la determinazione del costo di mancanza del pezzo;

criterio del costo globale minimo. In definitiva si tratta di determinare il livello di scorta che rende minimo il costo complessivo di quel pezzo a stock. Tale onere è composto dall'aliquota corrispondente al costo di mancanza (derivante dalla fermata dell'impianto e quindi dalla mancata produzione), e da quella relativa ai costi di possesso a scorta di pezzi (generalmente di elevato valore economico). Anche in questo caso le valutazioni probabilistiche vengono condotte con una distribuzione di Poisson.

3.6.11.5. Ricambi NIR, a Rotazione Normale

I problemi connessi con la gestione dei ricambi a normale indice di rotazione coincidono con i problemi relativi più generalmente alla gestione delle scorte, di qualsiasi tipo esse siano. Il problema può quindi essere validamente trattato con un modello che presenti:

- consumi variabili nel tempo secondo una legge probabilistica, che in genere si osserva essere quella normale;
- gestione fondata sui concetti del lotto economico di acquisto e livello di riordino.

3.6.12. Un Caso Reale: Proposte di Razionalizzazione del Sistema

Finalità: Ricercare l'economicità e l'efficienza nella gestione del sistema manutentivo.

Azienda: Reni Ettore SpA - Volta Mantovana (Mn). *Core business:* produzione di pannelli di paniforti e compensato di pioppo.

La strategia di intervento scelta mira alla gestione efficiente della manutenzione. Partendo dal presupposto che si sia attuata in modo efficace l'integrazione della **funzione manutenzione** con gli altri settori aziendali (come indicato al §3.6.4), innanzitutto è necessario individuare il tipo di interventi da adottare sull'analisi dei guasti. Questo significa scegliere quando adottare interventi correttivi a guasto, quando interventi preventivi e quando effettuare interventi predittivi.

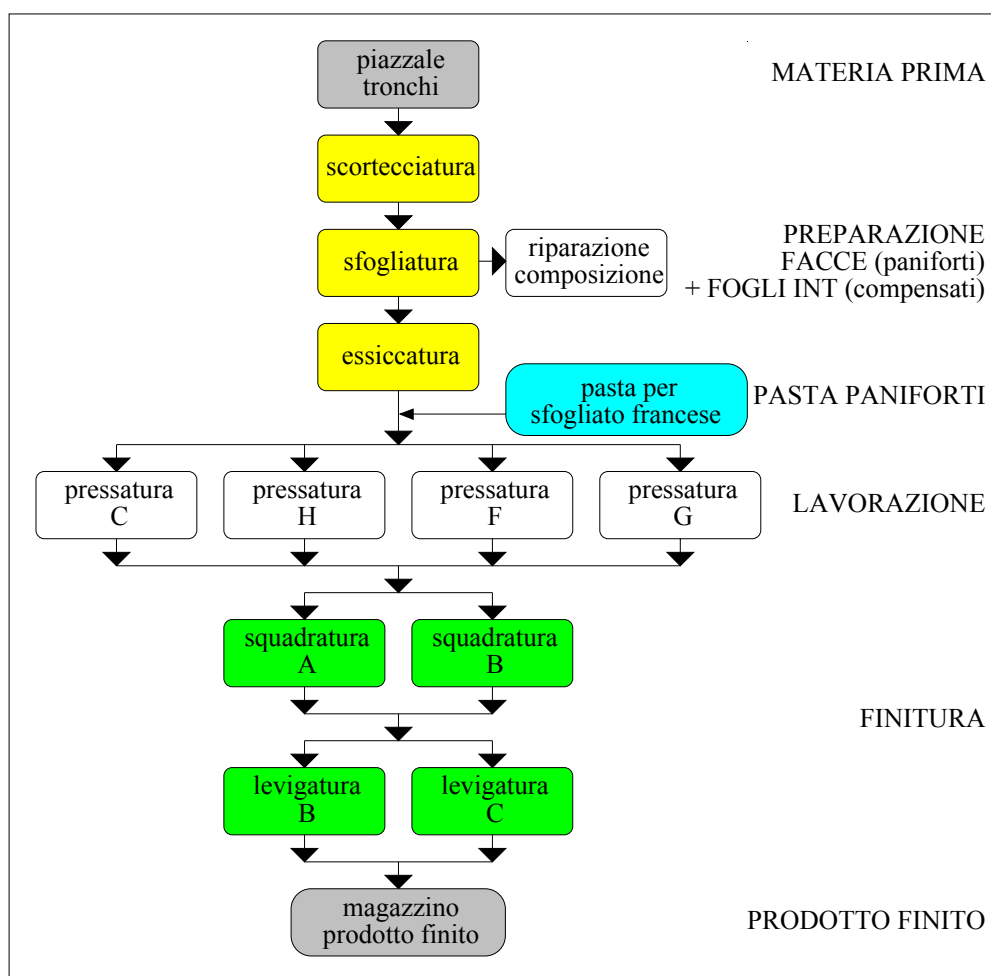


fig. 3.106. Schema del layout funzionale dell'impianto.

Da questa analisi scaturiscono generalmente sollecitazioni a progettare e realizzare modifiche all'impianto esistente, valutare l'opportunità di rinnovare in tutto od in parte l'impianto produttivo e prevedere il livello ottimale delle scorte delle parti di ricambio, in modo da massimizzare l'utile aziendale.

3.6.12.1. **Analisi della Situazione Presente e Presa di Decisioni Strategiche.**

Come nella maggior parte delle Piccole e Medie Industrie, si osserva una Gestione *Tradizionale* della funzione manutentiva. Tuttavia, essa è caratterizzata dai seguenti aspetti negativi:

- mancanza di una funzione aziendale dedicata,
- implementazione di interventi principalmente di tipo correttivo, con scarsa presenza di azioni preventive e di attività di ispezione,
- insufficiente flusso di informazioni,
- programmazione e preparazione del lavoro manutentivo unicamente sulla base dell'esperienza,
- autovalutazione da parte del manutentore.

Al contrario, una gestione *moderna* della manutenzione è limitata a circa il 7% delle Aziende. All'osservatore esperto di politiche manutentive, la situazione presente dell'Azienda prospetta, nell'ottica di raggiungere il massimo profitto per l'Organizzazione, una transizione difficile, che comporta la necessità di acquisire una grande quantità di dati, l'impiego di rilevanti risorse iniziali ed un cambiamento di mentalità da parte del personale, di fronte a problemi d'altra parte ben noti.

Si decide di procedere con un approccio per fasi:

- A. analisi dell'impianto, con acquisizione dei dati di guasto delle macchine e dell'impianto,
- B. analisi e studio dei tempi di fermo delle macchine e dell'impianto,
- C. calcolo degli indici di affidabilità, ed ottimizzazione degli interventi preventivi,
- D. stabilizzazione e consolidamento delle informazioni, con sviluppo di una banca dati,
- E. interventi strutturali, con:
 - a. studio di nuovi interventi preventivi e predittivi,
 - b. progettazione di massima e determinazione delle opportune modifiche all'impianto,
 - c. valutazione dell'opportunità di rinnovo delle macchine,
 - d. scelta del tipo di gestione delle scorte.

3.6.12.2. **Analisi dell'Impianto**

Per risolvere il problema della mancanza di dati storici riguardanti gli interventi effettuati, si decide di reperire la maggiore quantità di dati dalla letteratura, e di eseguire sul campo l'analisi di ciascuna macchina, con i capisquadra. Si vede immediatamente che esistono moltissimi componenti da analizzare e che è opportuno stendere, per ogni macchina, il Diagramma di Pareto del rischio cumulato di guasto di fig. 3.110.

In tutto, sono state esaminate 46 macchine, per un totale di 405 interventi correttivi e 332 interventi preventivi schedati. Per ogni macchina, viene anche compilata una scheda, del tipo di tab. 3.XXXVIII e tab. 3.XXXIX, rispettivamente degli interventi correttivi e preventivi eseguiti.

Per quanto riguarda la ricerca in letteratura, si esaminano le banche dati disponibili, di cui un esempio è riportato in tab. 3.XL.

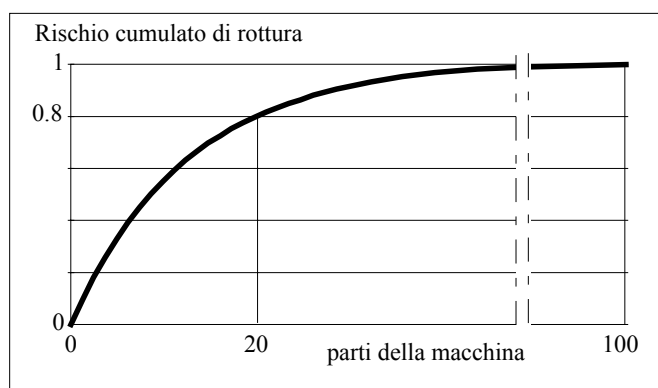


fig. 3.107. Diagramma di Pareto di una macchina dell'impianto.

tab. 3.XLI. Diario degli interventi **correttivi** della macchina **06**.

Codice Macch.	Codice comp.	Tipo di Guasto	MTBF, h	MTTR, min	Addetti	Conseguenze	Rip./Sost.	Du-rata
06	06-g01	Rottura motori-duttore	10.000	120	2	Blocco sfogliatura	S	4,00
	06-g02	Rottura catena principale	3520	60	1		S	1,00
	06-g03	Rottura catena secondaria	3520	60	1	Nessuna	S	1,00

tab. 3.XLII. Diario degli interventi **preventivi** della macchina **06**.

Codice Macch.	Codice comp.	Denominazione intervento	Sca-denza h	Durata, min	Addetti	Materiale consumo	Quan-tità
06	06-p01	Pulizia ed in-grassaggio	80	30	1	Grasso	1kg
	06-p02	Sostituzione ca-tene	4.480	20	1		
	06-p03	Rabbocco olio riduttore	3.520	10	1	Olio riduttore	1kg
	06-p04	Sostituzione striscianti catene	14.080	600	2	Striscianti	10

3.6.12.3. Calcolo degli Indici di Affidabilità a Diversi Livelli di Analisi

Come detto sopra, l'obiettivo è di ricavare gli indici di Affidabilità, Manutenibilità e Disponibilità dell'intero sistema. Per arrivare a questo risultato, bisogna risalire dal livello più basso (articoli) a quello massimo, che è l'impianto, attraverso successivi passi:

1. singoli elementi,
2. elementi in serie dal punto di vista dell'affidabilità,
3. elementi in parallelo dal punto di vista dell'affidabilità:
 - a. non ridondanti,

3. SERVIZI AZIENDALI

- b. a ridondanza semplice,
- c. a ridondanza sequenziale.

3.6.12.4. Analisi Affidabilistica, Livello Singolo Articolo

Allo scopo si compila una tabella con i risultati dei calcoli, del tipo di tab. 3.XLI, che si riferisce agli interventi a guasto di una macchina diversa da quella di tab. 3.XXXVIII, precisamente la macchina **01**.

Si ricorda che, trattandosi qui di elementi singoli, il **rischio di guasto** λ può essere inteso come il numero medio di guasti nell'unità di tempo, poiché il numero di articoli della prova di affidabilità di §3.6.2, associata a questa analisi è unitario. Inoltre, ma in accordo con quanto detto in §3.6.8, il **tasso di manutenibilità** μ è inteso come il numero di riparazioni nell'unità di tempo.

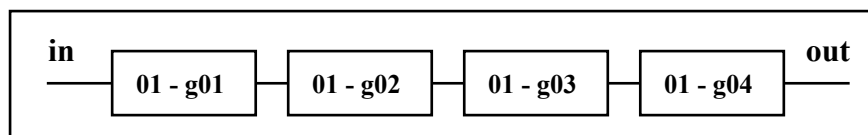
In totale, sono stati testati 405 componenti dell'impianto.

tab. 3.XLIII. Calcolo degli indici di affidabilità dei componenti la macchina **01**.

Codice Macch.	Codice Comp.	Tipo di Guasto	MTBF, h	MTTR, min	Addetti	Rip./Sost	Durata, h	λ 1/h	μ 1/h
01	01-g01	Rottura perno forca	320	60	1	S	1,00	0.003125	0.016667
	01-g02	Rottura pistone	14.000	60	1	S	1,00	0.000071	0.016667
	01-g03	Foratura pneumatico	1.200	30	1	S	0.50	0.000833	0.033333
	01-g04	Scoppio tubi olio	320	15	1	S	0.25	0.003125	0.066667
	01-g05	Rottura faro	5.200	60	1	S	1.00	0.000192	0.016667

3.6.12.5. Elaborazione Affidabilistica dei Dati Raccolti, Livello Macchina

Scaricatore SOLMEC S80. Si tratta della macchina **01** di tab. 3.XLI, che è caratterizzata da 4 componenti in serie dal punto di vista dell'affidabilità, in quanto i guasti da 01-g01 a 01-g04 determinano l'annullamento della potenzialità produttiva.



Dai dati delle prime 4 righe di colonna 9 in tab. 3.XLI (il faro non viene considerato in serie), si ricava:

$$\lambda(01) = \sum_{i=1}^4 \lambda_i(01) = 0.007154 \text{ h}^{-1} \quad \text{MTBF}(01) = \frac{1}{\lambda(01)} = 140 \text{ h}$$

Da cui si ricava che la probabilità che lo scaricatronchi 01 abbia piena operatività nelle 8 ore di lavoro è:

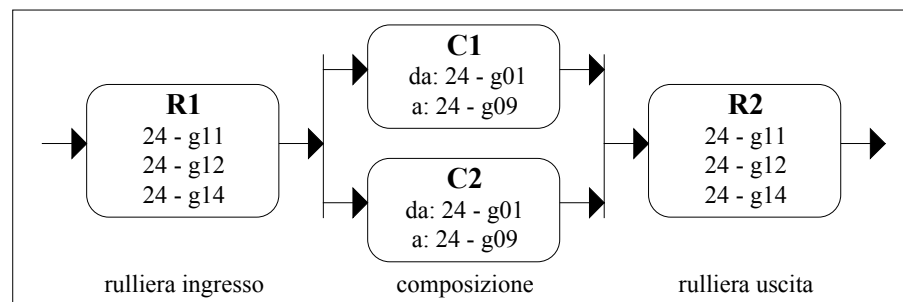
$$R(t)(01) = \exp(-\lambda(01) \cdot t) = \exp(-0.007154 \cdot 8) = 0.9428$$

e, conseguentemente, gli altri parametri sono:

$$MTTR(01) = \frac{\sum_{i=1}^4 \lambda_i(01) \cdot MTTR_i}{\sum_{i=1}^4 \lambda_i(01)} = 0.61h \quad \mu(01) = \frac{1}{MTTR(01)} = 1.62823h^{-1}$$

$$F(t_r) = 1 - \exp(-\mu(01) \cdot t) \quad \text{ed} \quad A(01) = \frac{MTBF(01)}{MTBF(01) + MTTR(01)} = 0.9956$$

Linea di Alimentazione Pressa H. Si tratta del sistema avente codice **24**, che è caratterizzato da 4 articoli in serie-parallelo dal punto di vista dell'affidabilità, ed è composto da due rulliere con interposte due *linee di composizione* in parallelo non ridondante, secondo lo schema seguente.



Per determinare i parametri affidabilistici della linea, bisogna adottare la teoria propria dei sistemi complessi di §3.6.8.4. Analizzando il diario dei guasti si possono separare quelli che afferiscono alle *linee di composizione* (che in questo caso sono due) dalle rulliere di ingresso e di uscita. Utilizzando la procedura, si ricavano le caratteristiche dei sottosistemi in serie. Per i singoli sottosistemi si ricavano i dati della tabella seguente.

sottosistema	Codice articolo.	λ 1/h	MTTR, h	Disponibilità A
Rulliera ingresso R1	g11÷g14	0.004727	1.01	0.9952
Composizione C1	g01÷g09	0.006306	1.80	0.9893
Composizione C2	g01÷g09	0.006306	1.80	0.9893
Rulliera uscita R2	g11÷g14	0.004727	1.01	0.9952

Ora esaminiamo il gruppo *linee di composizione*: si tratta di uno schema parallelo non ridondante, in cui l'eventuale fermata di una delle linee determina una diminuzione di produttività, ma non il suo annullamento. Questo modo di operare produce una serie di stati possibili di funzionamento ciascuno con la propria probabilità di accadimento e la caduta di potenzialità risultante. Il prodotto delle due grandezze determina la disponibilità in quel particolare stato. Sommando la disponibilità di tutti gli stati possibili, si ottiene la disponibilità complessiva del gruppo parallelo. Nel caso specifico si ha la tabella seguente.

stato dell'unità			Probabilità dello stato	Potenzialità	Disponibilità
Stato	Non guasto	Guasto			
1	2	0	$A_{C1}^2 = 0.9893^2 = 0.9787$	1.00	0.9787
2	1	1	$2 \cdot A_{C1} \cdot (1 - A_{C1}) = 0.0212$	0.50	$0.0212 \cdot 0.50 = 0.0106$
3	0	2	$(1 - A_{C1})^2 = 0.0001$	0	0
			Somma probabilità: 1.000		$A_{lin} = 0.9893$

La probabilità di essere nello stato di colonna 4 deve tener conto del numero di permutazioni corrispondenti allo stato di avere **a** articoli funzionanti su un totale di **n**, per lo stato **2**, cioè:

$$\binom{n}{a} = \frac{n!}{a!(n-a)!} \quad \text{quindi:} \quad \binom{2}{1} = \frac{2!}{1!(2-1)!} = 2$$

Seguendo la procedura descritta si trova che la disponibilità del sottosistema parallelo è $A(c1,c2) = 0.9893$. Il calcolo del tasso di guasto richiede un ragionamento analogo:

Per lo stato **1**, il tempo totale fra due guasti è la metà di quello del singolo elemento:

$$MTBF_1 = MTBF_{C1} / 2 \quad \text{quindi:} \quad \lambda_1 = \lambda_{C1} \cdot 2$$

Per lo stato **2**, data la presenza di un solo componente funzionante, λ sarà quello del singolo elemento:

$$MTBF_1 = MTBF_{C1} / 2, \quad \text{quindi} \quad \lambda_2 = \lambda_{C1}$$

Introducendo la probabilità degli stati nella (3.53):

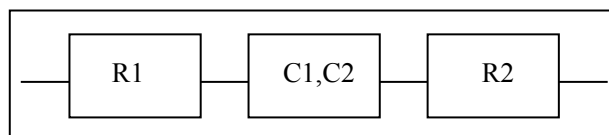
$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^N p_i}$$

si ottiene:

$$\lambda(C1, C2) = \lambda_1 \cdot (0.9787 + 0.0212) = 0.01247$$

Il calcolo del MTTR del parallelo è inutile in quanto, essendo gli elementi uguali, si otterrebbe un risultato identico a quello di ciascun elemento costituente:

$$MTTR(C1, C2) = MTTR_{C1} = 1.8h$$



A questo punto, la linea **24** è riportata ad una composizione di sottosistemi in serie, che viene facilmente trattata con la consueta procedura:

$$\lambda_{24} = \lambda_{R1} + \lambda_{C1,C2} + \lambda_{R2} = 0.02193h^{-1}$$

$$MTTR_{24} = \frac{\lambda_{R1} \cdot MTTR_{R1} + \lambda_{C1,C2} \cdot MTTR_{C1,C2} + \lambda_{R2} \cdot MTTR_{R2}}{\lambda_{R1} + \lambda_{C1,C2} + \lambda_{R2}} = 1.46h$$

$$A_{24} = A_{R1} + A_{C1,C2} + A_{R2} = 0.9801$$

3.6.12.6. Elaborazione Affidabilistica dei Dati Raccolti, Livello di Linea

Nella tabella seguente sono riassunti i dati affidabilistici di alcune macchine osservate, su un totale di 46.

Invece, nella figura, sono riportati rispettivamente gli andamenti dell'affidabilità e della manutenibilità della macchina avente codice **01**. L'affidabilità è espressa in termini di R_t , cioè in funzione dell'intervallo di tempo considerato, di funzionamento in regime di non guasto, mentre la manutenibilità in termini di F_t , cioè in funzione della probabilità di completare la riparazione nel tempo t .

					affidabilità				manutenibilità						A
Cod.	MTBF h	λ 1/h	MTTR h	μ 1/h	R_{1h}	R_{8h}	R_{16h}	R_{80h}	$F_{0.5h}$	F_{1h}	$F_{1.5h}$	F_{2h}	$F_{2.5h}$	F_{3h}	
05	60	.016715	1.39	.718924	.9834	.8748	.7653	.2626	.3019	.5127	.6599	.7626	.8343	.8843	.9773
06	2604	.000384	1.26	.793388	.9996	.9969	.9939	.9697	.3275	.5477	.6958	.7954	.8624	.9075	.9995
07	1484	.000574	1.57	.638256	.9993	.9946	.9893	.9475	.2732	.4718	.6161	.7210	.7972	.8526	.9989
08	77	.012976	0.77	1.299573	.9871	.9014	.8125	.3541	.4778	.7274	.8576	.9257	.9612	.9797	.9901

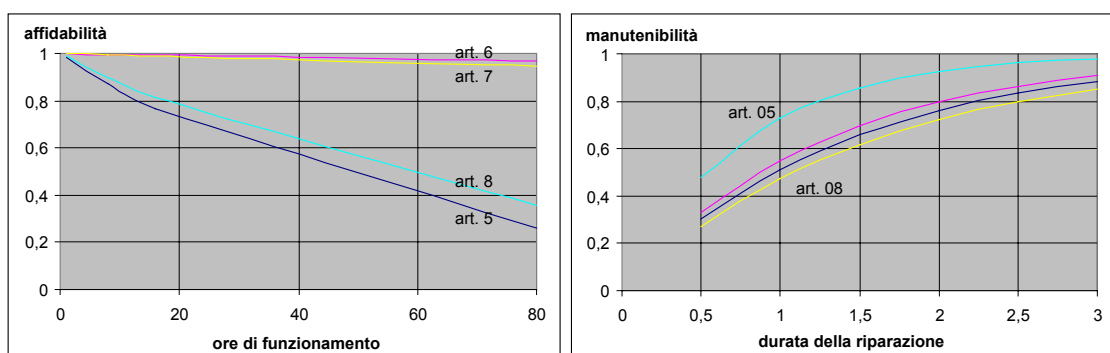


fig. 3.108. Indici di affidabilità, manutenibilità e disponibilità della macchina 01.

Linea	A	Linea	A
1.1 alimentazione scortecciatrice	0.9999	1.9 squadratura A	0.9799
1.2 sfogliatura	0.9387	1.10 squadratura B	0.9714
1.3 riparazione, composizione	0.9891	1.11 levigatura B	0.9815
1.4 essiccatura	0.9890	1.12 levigatura C	0.9797
1.5 pressatura C	0.9701	1.13 trasporto interno-esterno	0.9932
1.6 pressatura H	0.9650	1.14 gruppo transpallet	0.9968
1.7 pressatura F	0.9765	1.15 gruppo carrelli elevatori	0.9966
1.8 pressatura G	0.9766	1.16 gruppo prod. aria compressa	1.0000

Con le tabelle precedenti, si sono determinati i coefficienti di disponibilità delle linee nelle quali le macchine sono raggruppate, in serie e parallelo dal punto di vista dell'affidabilità. Nella tabella seguente, sono riassunti i risultati del calcolo delle disponibilità delle linee.

Dopo aver controllato la tabella con i dati dei **fermi mensili** e quello della **produzione** degli ultimi 15 mesi, la disponibilità complessiva *assoluta* dell'impianto risulta pari a **0.8579**, facendo il calcolo in maniera cautelativa, senza cioè considerare il benefico effetto della presenza dei magazzini interoperazionali.

3.6.12.7. Ottimizzazione degli Interventi Preventivi

Con l'analisi dei tempi di fermo si possono determinare i tempi annuali di fermo linea e si possono ricavare le fermate che sono imputabili agli articoli delle macchine che sono già soggetti a manutenzione preventiva e quelle che sono imputabili agli articoli soggetti solamente a manutenzione correttiva. Per facilitare l'elaborazione dei dati, può essere conveniente raggruppare gli articoli in sub-macchine, ed applicare ad esse la teoria dei sistemi complessi, quindi distinguere tra le situazioni di serie e di parallelo, dal punto di vista dell'affidabilità.

In questo modo, si possono ottimizzare gli interventi preventivi e programmarne altri sia di tipo preventivo, sia di tipo predittivo.

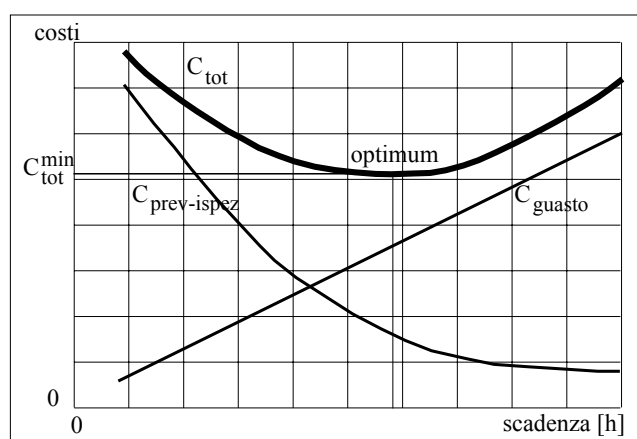


fig. 3.109. Ottimizzazione della funzione preventiva.

Come a suo tempo descritto in fig. 3.106, ora ripetuta in fig. 3.112, gli andamenti dei costi di manutenzione preventiva **C_{prev}** e di quelli di manutenzione a guasto **C_{guasto}** in funzione della scadenza, cioè della frequenza con la quale si esegue la manutenzione preventiva, individuano una situazione di ottimo. Infatti, quanto più la scadenza è ravvicinata, tanto più elevati sono i costi di intervento di manutenzione preventiva ed, evidentemente, sono bassi quelli di intervento a guasto. Ne risulta che i costi totali di manutenzione, somma **C_{tot}** dei precedenti, presentano un minimo, in corrispondenza del quale si ha la scadenza ottimale della manutenzione preventiva. Con questo tipo di analisi si cerca di ottimizzarne i parametri.

Nel caso in esame, impiegando la tecnica della sostituzione **a data costante**, lo studio è rivolto a controllare la bontà delle scadenze adottate in precedenza.

Per un singolo articolo di macchina si definiscono i parametri seguenti:

C_{mg}	costo della manodopera per l'intervento a guasto,
C_{rg}	costo dei ricambi sostituiti al guasto,
C_{mp}	onere per mancata produzione,
C_{mpr}	costo della manodopera per l'intervento preventivo,
C_{rp}	costo dei ricambi impiegati per l'intervento preventivo.

Si deducono il costo totale dell'intervento *correttivo*:

$$C_g = C_{mg} + C_{rg} + C_{mp}$$

ed il costo totale dell'intervento *preventivo*.

$$C_p = C_{mpr} + C_{rp}$$

nell'ipotesi che gli interventi *preventivi* siano effettuati fuori dai turni di produzione (quindi senza oneri di mancato ricavo). Dal diario dei guasti e delle azioni preventive si ricava il numero medio attuale di guasti annui:

$$N_{ag} = \frac{3520}{MTBF}$$

Sia **T** l'intervallo fra due interventi preventivi. Il numero medio annuo attuale di interventi preventivi è:

$$N_{ap} = \frac{3520}{T}$$

A questo punto si può determinare il costo annuo della politica manutentiva attuale per quel componente:

$$C_a = N_{ag} \cdot C_g + N_{ap} \cdot C_p$$

Ora sia **Ti** una nuova scadenza ipotetica. Ricordiamo che:

$$Fa(T) = 1 - \exp\left(\frac{-T}{MTBF}\right) \quad \text{ed} \quad Fi(Ti) = 1 - \exp\left(\frac{-Ti}{MTBF}\right)$$

sono le probabilità di guasto del componente in esame fra due interventi preventivi con la cadenza attuale **T** e quella ipotetica **Ti**. Il rapporto $Fi(Ti)/Fa(T)$ è la stima della variazione del numero di rotture tra la situazione reale attuale e quella ipotetica. Quindi, il numero di rotture atteso nell'intervallo **Ti** sarà:

$$N_{ig} = \frac{Fi(Ti)}{Fa(T)} N_{ag}$$

mentre vale ancora il numero di interventi previsti alla scadenza **Ti**:

$$N_{ip} = \frac{3520}{Ti}$$

Quindi, si può determinare il costo annuale della politica ipotetica, basata su una scadenza **Ti**:

$$C_t = N_{ig} \cdot C_g + N_{ip} \cdot C_p$$

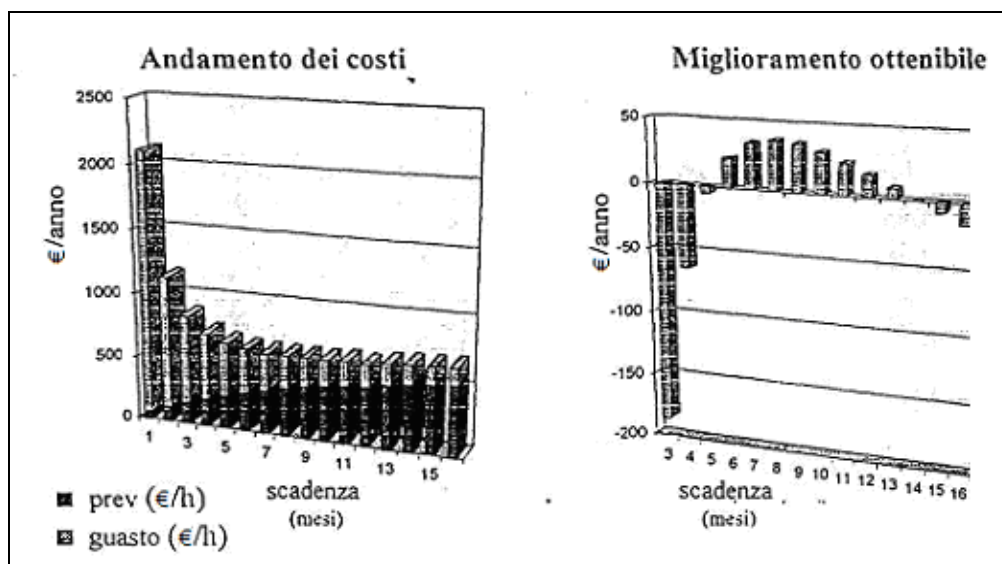
Ripetendo la procedura variando l'intervallo **T**, si ottiene un quadro complessivo che permette la scelta della politica più vantaggiosa.

Il problema presenta un'elevata mole di calcoli, peraltro ricorsivi, che consiglia la creazione di un codice automatico di calcolo. Ad esempio, la figura seguente presenta la finestra Visual Basic, che riporta i dati calcolati ed inseriti da fogli precedenti ed i dati necessari al calcolo dei costi ed al loro confronto. In particolare, la finestra si riferisce alla linea 1.1, di alimentazione della scortecciatrice, in particolare al componente *catena principale*. Alcuni dei dati sono già stati presentati in §2.8.5.4.

3. SERVIZI AZIENDALI

Gli istogrammi, che derivano dalla rappresentazione grafica presentata dal codice, permettono di individuare la scadenza ottimale degli interventi preventivi, che, nel caso specifico vale circa 8 mesi.

OTTIMIZZAZIONE INTERVENTI MANUTENTIVI									
SOCIETA': Reni Ettore S.p.A.					REPARTO: sloggiatura				
MACCHINA: nostro carico tronchi			COD: 6		COSTO DI MANCANZA (€/h): 312,60				
COMPONENTE: catena principale					COD. COMPONENTE: MCA008				
Par. guasto					Par. preventivo				
MTBF (h): 3520					scadenza (h): 4480		Apri		
MTTR (min): 60					tempo interv. (min): 20		Salva		
addetti: 1					addetti: 1		Esci		
costo ricambio (€): 173,70					costo ricambio (€): 173,70				
scenario futuro (m) 1-4 <input checked="" type="text" value="5-8"/> 9-12 13-16 17-20 21-24 25-28 29-32 33-36									
costo intervento a guasto (€): 522,16					costo di un intervento preventivo (€): 185,65				
AT (m)	F(t)	roti. prev.	guasto (€/a)	prev. (€/a)	tot. (€/a)	delta (€/a)			
5	.3653	.507	264,73	408,45	673,18	-5,14			
6	.4204	.584	30,43	340,37	645,32	22,72			
7	.4708	.654	341,49	291,75	633,24	34,79			
8	.5168	.718	374,91	255,28	630,19	37,84			
14	.7199	1.	522,16	145,87	668,04		variaz. % -5,7		



In questo contesto, il supporto informatico alla manutenzione può essere reso sempre più solido e permetterà il consolidamento delle informazioni, soprattutto se collegato ad una rete informatica di raccolta delle informazioni.

Ulteriori perfezionamenti possono derivare dalla continua implementazione nel database dei dati via via raccolti dalla Funzione Manutenzione e dalla ripetizione dei calcoli descritti. Ne deriva la possibilità di aggiornare continuamente la strategia manutentiva ed, in particolare:

- determinare la convenienza di nuovi interventi preventivi e predittivi,
- progettare modifiche all'impianto,
- valutare l'opportunità di rinnovo delle macchine,
- elaborare la politica ottimale di gestione dei ricambi.

INDICE

3. SERVIZI AZIENDALI.....	3-1
3.0. VALUTAZIONE DEI RISCHI.....	3-1
3.1. IMPIANTI DI DISTRIBUZIONE DEI FLUIDI (PIPING).....	3-3
3.1.1. Tubazioni.....	3-3
3.1.1.1. Tubi di Acciaio.....	3-6
3.1.1.2. Tubi di Materiale Plastico.....	3-10
3.1.1.3. Calcolo del Coefficiente di Sicurezza, in Base alla Pressione di Esercizio.....	3-11
3.1.1.4. Colori delle Tubazioni.....	3-12
3.1.2. Giunti e Guarnizioni.....	3-13
3.1.3. Raccordi.....	3-17
3.1.3.1. Raccordi di Ghisa.....	3-17
3.1.3.2. Raccordi di Materiale Plastico.....	3-18
3.1.4. Valvole.....	3-19
3.1.4.1. Valvole di Intercettazione.....	3-22
3.1.4.2. Valvole di Regolazione.....	3-25
3.1.4.3. Valvole di Ritegno.....	3-25
3.1.4.4. Valvole di Sicurezza.....	3-26
3.1.4.5. Valvole di Riduzione e Stabilizzazione della Pressione.....	3-26
3.1.4.6. Installazione delle Valvole.....	3-30
3.1.5. Il Problema del Colpo d'Ariete.....	3-31
3.1.6. Tecnica di Installazione degli Impianti.....	3-34
3.1.6.1. Collegamenti col Metodo della Dimensione z	3-34
3.1.6.2. Espansione e Contrazione dei Tubi.....	3-35
3.1.6.3. Sezioni Flessibili.....	3-36
3.1.6.4. Compensatori a Soffietto.....	3-40
3.2. DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA INDUSTRIALE.....	3-41
3.2.1. Scelta del Serbatoio di Accumulo e sua Capacità.....	3-41
3.2.2. Progetto ed Installazione di un Autoclave.....	3-44
3.2.3. Progettazione della Rete di Distribuzione.....	3-46
3.2.3.1. Rete a Pettine.....	3-47
3.2.3.2. Rete a Maglie.....	3-51
3.2.3.3. Dimensionamento Ottimale di un Impianto di Servizio.....	3-55
3.3. IMPIANTI TERMICI.....	3-57
3.3.1. Rete di Distribuzione del Vapore.....	3-61
3.3.1.1. Scaricatori di Condensa.....	3-62
3.3.1.2. Dimensionamento delle Reti di Vapore.....	3-65
3.3.1.3. Dimensionamento delle Reti di Condensa.....	3-68
3.3.1.4. Vaso di Raccolta della Condensa (pozzo caldo).....	3-70
3.4. CAPTAZIONE DELLE POLVERI.....	3-72
3.4.1. Dinamica delle particelle.....	3-72
3.4.2. Captazione delle Polveri.....	3-73
3.4.3. Progettazione dell'Impianto.....	3-76
3.5. PROTEZIONE E PREVENZIONE ANTINCENDIO.....	3-83
3.5.1. Il Modello dell'Incidente di Houston.....	3-85
3.5.2. Il Controllo della Sicurezza.....	3-86
3.5.2.1. Le Principali Cause di Incendio negli Ambienti di Lavoro.....	3-88

3. SERVIZI AZIENDALI

3.5.2.2.	La Prevenzione	3-89
3.5.2.3.	Legislazione Antincendio di Riferimento	3-92
3.5.3.	Fondamenti della Chimica dell'Incendio	3-95
3.5.3.1.	I Reagenti	3-95
3.5.3.2.	Il Combustibile	3-97
3.5.3.3.	I Prodotti della Combustione	3-99
3.5.3.4.	Segnaletica	3-102
3.5.3.5.	Autoaccensione ed autocombustione	3-104
3.5.4.	Danni da Incendio	3-104
3.5.4.1.	Classi di Incendio	3-106
3.5.4.2.	Metodi di Spegnimento	3-107
3.5.4.3.	Gli Estinguenti	3-107
3.5.5.	La Resistenza al Fuoco	3-110
3.5.5.1.	Distanze Interne ed Esterne	3-114
3.5.5.2.	Vie di Esodo, Uscite ed Illuminazione di Sicurezza	3-114
3.5.5.3.	Misure di Protezione Passiva	3-117
3.5.5.3.1.	Evacuatori di Fumi	3-118
3.5.5.3.2.	Altre Misure di Protezione Passiva	3-119
3.5.5.4.	Misure di Protezione Attiva	3-121
3.5.5.4.1.	Il Sistema di Rivelazione	3-121
3.5.5.4.2.	Gli Estintori	3-125
3.5.5.4.3.	Mezzi di Estinzione Fissi ad Acqua, con Idranti	3-129
3.5.5.4.4.	Mezzi di Estinzione Fissi ad Acqua, a Pioggia	3-134
3.5.5.4.5.	Mezzi di Estinzione a Schiuma Meccanica	3-136
3.5.5.4.6.	Impianti Automatici ad Anidride Carbonica	3-138
3.5.5.5.	Le Attrezzature Individuali	3-139
3.6.	LA MANUTENZIONE NEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI	3-141
3.6.1.	Spazio delle Fasi	3-144
3.6.2.	L'Affidabilità di un Articolo Fino al Primo Guasto	3-147
3.6.3.	Dall'Affidabilità alla Manutenzione	3-153
3.6.4.	La Manutenzione nell'Ottica Aziendale	3-154
3.6.5.	Tipologie di Manutenzione	3-156
3.6.6.	Manutenzione Migliorativa	3-157
3.6.7.	Applicazione della Teoria dell'Affidabilità	3-157
3.6.7.1.	Affidabilità di un Articolo	3-157
3.6.7.2.	Andamento del Tasso di Guasto $\lambda(T)$ nella Vita dell'Articolo	3-161
3.6.7.3.	Indicazioni del Tasso di Guasto dell'Articolo nelle Banche Dati	3-164
3.6.7.4.	Affidabilità di un Sistema con Articoli in Serie	3-164
3.6.7.5.	Affidabilità di un Sistema con Articoli in Parallelo	3-166
3.6.8.	Manutenibilità e Disponibilità	3-168
3.6.8.1.	Manutenibilità di un Articolo	3-168
3.6.8.2.	Manutenibilità di un Sistema	3-169
3.6.8.3.	Disponibilità di un Articolo Riparabile	3-169
3.6.8.4.	Disponibilità di un Sistema	3-171
3.6.9.	Politiche di Manutenzione Preventiva	3-174
3.6.9.1.	Politiche di Rinnovo del Singolo Articolo	3-174
3.6.9.1.1.	Sostituzione ad Età Costante	3-174
3.6.9.1.2.	Sostituzione a Data Costante	3-175
3.6.9.2.	Politiche di Rinnovo nel Caso di Più Componenti	3-175
3.6.10.	Politiche Ispettive	3-175
3.6.10.1.	Zona dei Guasti Accidentali (<i>vita utile ed $f(t)$ esponenziale</i>)	3-176
3.6.10.2.	Zona dei Guasti per Usura (invecchiamento ed $f(t)$ gaussiana)	3-177
3.6.11.	La Gestione dei Ricambi	3-178
3.6.11.1.	Codifica dei Ricambi	3-178

3.6.11.2. Classificazione dei Ricambi	3-179
3.6.11.3. Valutazione della Riserva	3-180
3.6.11.4. Ricambi BIR, a Bassa Rotazione	3-180
3.6.11.5. Ricambi NIR, a Rotazione Normale	3-181
3.6.12. Un Caso Reale: Proposte di Razionalizzazione del Sistema	3-181
3.6.12.1. Analisi della Situazione Presente e Presa di Decisioni Strategiche	3-182
3.6.12.2. Analisi dell’Impianto	3-182
3.6.12.3. Calcolo degli Indici di Affidabilità a Diversi Livelli di Analisi	3-183
3.6.12.4. Analisi Affidabilistica, Livello Singolo Articolo	3-184
3.6.12.5. Elaborazione Affidabilistica dei Dati Raccolti, Livello Macchina	3-184
3.6.12.6. Elaborazione Affidabilistica dei Dati Raccolti, Livello di Linea	3-187
3.6.12.7. Ottimizzazione degli Interventi Preventivi	3-187

INDICE DELLE FIGURE

fig. 3.1.Struttura di un tubo di acciaio di tab. 3.I, protetto all'esterno e l'interno.	3-4
fig. 3.2.Limiti di applicazione di tubi e raccordi di materiale plastico. A) polietilene, B) polipropilene, C) Polivinilidene fluoruro. Valori misurati su 25 anni di utilizzo, tenendo conto del fattore di sicurezza C , con acqua come fluido di prova. Costr. GEORG FISCHER. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-12
fig. 3.3.Limiti di applicazione di tubi e raccordi di materiale plastico. A) PVC-U, B) PVC-C) ABS. Valori misurati su 25 anni di utilizzo, tenendo conto del fattore di sicurezza C , con acqua come fluido di prova. Costr. GEORG FISCHER. D) Curve di regressione della resistenza a fatica del PP-H. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-13
fig. 3.4.Giunti saldati. A) a manicotto, B) a bicchiere cilindrico, C) a sfera.	3-14
fig. 3.5.Giunti smontabili a flangia. A) piane, per basse pressioni nominali, B) a collare, per medie ed alte pressioni nominali.	3-15
fig. 3.6.Giunti smontabili Gas. A) a manicotto, B) a bocchettone (nel caso mostrato, femmina-femmina).	3-16
fig. 3.7.Esempi di bocchettoni di ghisa commerciali a sede della guarnizione piana. A) femmina-femmina, B) maschio-femmina. Costr. GEORG FISCHER. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-16
fig. 3.8.Gamma di raccordi di ghisa malleabile. Costr. GEORG FISCHER. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-18
fig. 3.9.Gamma di raccordi di materiale plastico. Costr. GEORG FISCHER. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-19
fig. 3.10....Schema di alcune tipologie di valvole di intercettazione e regolazione. a) a diaframma, b) a globo, c) ad Y, d) a spillo, e) a saracinesca.	3-20
fig. 3.11....Curva caratteristica apertura – k_v di una famiglia di valvole di intercettazione a farfalla. Costr. GEORG FISCHER. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-21
fig. 3.12....Valvola di intercettazione a sfera di grande diametro, costr. VALVTECHNOLOGIES http://www.valv.com/	3-23
fig. 3.13....Valvola di intercettazione a farfalla, per tubazioni di materiale plastico ABS a saldare, costr. GEORG FISCHER. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-23
fig. 3.14....Valvola di intercettazione a saracinesca. Costr. KSB http://www.ksb.com/	3-24
fig. 3.15....Valvola di regolazione a flusso avviato e tenuta a soffietto, di acciaio. Costr. VAPORUSA. Esecuzioni fino a DN200, PN40, $T_{max} = 450C$. http://vaporusa.it/	3-24
fig. 3.16....Valvola di ritegno a clapet. Costr. OPPO. http://www.oppo.it/materiali/valvole/valvole_clapet.html	3-25
fig. 3.17....Valvola di ritegno di materiale plastico ABS, a saldare. Costr. GEORG FISCHER. http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-25
fig. 3.18....Valvola di sicurezza a molla, costr. BESA, ingresso DN25 – 250, uscita DN25 – DN400, corpo di ghisa, pressione di intervento fino a 40bar, temperatura massima 425C. http://www.besa.it/	3-26
fig. 3.19....Valvola di sicurezza a molla, costr. BESA, ingresso DN25 – 250, uscita DN25 – DN400, pressione di intervento fino a 400bar, temperatura massima 550C. Mat: corpo valvola, cappello e cappuccio: ghisa, acciaio al carbonio, acciaio legato, acciaio inox. Mat. bocchaglio, otturatore, sede ed asta: acciaio inox. Mat. piattello guida: ghisa, acciaio inox. Mat. molla: acciaio al carbonio, acciaio legato, acciaio inossidabile. http://www.besa.it/	3-27

fig. 3.20. ... Riduttore di pressione, costr. BESA, ingresso DN25 – 250, uscita DN25 – DN400, pressione di esercizio fino a 400bar, temperatura massima 550C. Materiali: ghisa, bronzo, acciaio al carbonio, acciaio inox. http://www.besa.it/ ...	3-28
fig. 3.21. ... Riduttore di pressione auto-servoazionato con valvola pilota e membrane doppie per servizio Vapore. Costr. ARMSTRONG http://www.armstrong-italiana.it/prodarmstrong/ . Ingresso 1÷20bar, pressione ridotta regolabile nei campi 0,07÷0.2bar, 0.2÷1.5bar, 1÷14bar, temperatura massima 220C, $\Delta p_{min} = 0.5bar$. Mat: corpo ghisa, sedi valvola principale e pilota inox AISI 420, membrane AISI 301.	3-29
fig. 3.22. ... Schema di principio di un riduttore di pressione di grandi dimensioni (fino a DN400). Costr. SAMSON, con pilota esterno. http://www.samson.de/pdf_in/t25520fr.pdf	3-30
fig. 3.23. ... Montaggio delle sezioni flessibili sotto traccia, mediante imbottitura delle cavità libere.	3-30
fig. 3.24. ... Smorzamento progressivo dell'onda di pressione dovuta a colpo d'ariete. I è la lunghezza d'onda, p è l'andamento della pressione.	3-31
fig. 3.25. ... Metodo della dimensione z per determinare la lunghezza effettiva del tubo.	3-35
fig. 3.26. ... Compensazione delle dilatazioni termiche mediante Sezioni Flessibili.	3-36
fig. 3.27. ... Abaco di Progettazione della Sezione Flessibile, per materiale plastico ABS.	3-37
fig. 3.28. ... Posizionamento dei supporti fissi e scorrevoli per assorbire le dilatazioni termiche. a) posizionamento di supporti fissi e scorrevoli, b) assorbitore a lira, c) pretensionamento della sezione flessibile.	3-38
fig. 3.29. ... Compensatori di dilatazione a soffiutto di acciaio inox TUBIFLEX. A) tipo AS, assiali a manicotto, con convogliatore interno, B) tipo AS FF, con flangie di acciaio al carbonio, C) tipo AVT, a soffiutto pretensionato, con flangie di acciaio al Carbonio e guide di acciaio zincato. http://www.tubiflex.com/ITA/default.htm	3-39
fig. 3.30. ... Schema del piping di un serbatoio sopraelevato.	3-42
fig. 3.31. ... Vasca interrata di accumulo e distribuzione dell'acqua industriale.	3-43
fig. 3.32. ... Determinazione della capacità minima del serbatoio di accumulo di fig. 3.30 e fig. 3.31.	3-43
fig. 3.33. ... Schema di installazione di un autoclave. Il livellostato è di costruzione CRYDOM. www.crydom.com	3-44
fig. 3.34. ... Diagramma di Moody. http://www.oppo.it/	3-46
fig. 3.35. ... Schema di rete di distribuzione a pettine.	3-48
fig. 3.36. ... Schema dell'impianto dell'esempio	3-50
fig. 3.37. ... Parti costituenti una rete a maglie.	3-52
fig. 3.38. ... Semplice impianto di distribuzione diretta di acqua industriale, senza serbatoio di accumulo.	3-56
fig. 3.39. ... Schema di un Impianto Termico industriale a vapor d'acqua.	3-57
fig. 3.40. ... Dipendenza dell'autoevaporazione specifica dalla caduta di pressione nel generatore.	3-58
fig. 3.41. ... a) schema di un Generatore di Vapore a tubi di fumo, ad un giro di fumo, b) vista d'assieme della macchina . http://www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/112910.pdf	3-59
fig. 3.42. ... Vista sezionata di un generatore di vapore a tubi d'acqua compatto per impieghi industriali. Esso presenta il flusso dei fumi orizzontale e, nel caso rappresentato, è completo di surriscaldatori. Il montaggio è in campo.	3-60
fig. 3.43. ... Schema di distribuzione del vapore e di ritorno delle condense.	3-61
fig. 3.44. ... Particolare dell'applicazione di un barilotto di ripresa per lo scarico delle condense, lo spurgo dell'aria ed il raccordo alla linea principale di ritorno delle condense.	3-62
fig. 3.45. ... Esempi di scaricatori di condensa. A) a soffiutto, B) termostatico a bimetallo, C) a galleggiante, D) a secchiello rovesciato con leva di chiusura, E) a secchiello diritto, F) termodinamico.	3-64

3. SERVIZI AZIENDALI

fig. 3.46.... Schema di impianto a vapore.	3-66
fig. 3.47.... Abaco del vapore. Legame tra pressione, velocità, portata di vapore e diametro interno del tubo.....	3-67
fig. 3.48.... Abaco per il dimensionamento delle linee di ritorno della condensa.	3-69
fig. 3.49.... Pozzo caldo degasatore di piccole dimensioni.	3-71
fig. 3.50.... Esempio di condizioni di buon funzionamento della pompa di alimento, altezza di aspirazione e battente assoluti sulla zona critica delle pale della girante.....	3-71
fig. 3.51.... Tavola delle definizioni e confronto delle dispersioni in atmosfera.	3-73
fig. 3.52.... Schema di impianto di captazione di polveri.	3-74
fig. 3.53.... Modelli di flusso dell'aspirazione. A) sorgente puntiforme S, B) sorgente a condotta, C) cappa a tronco di cono e piramide, D) cappa a baldacchino per vasche, setacci, ecc, E) cabina per impianti di verniciatura, ecc.	3-75
fig. 3.54.... Andamento delle velocità esterne alla cappa.....	3-77
fig. 3.55.... Studio del funzionamento della cappa appoggiata sul piano di lavoro.	3-78
fig. 3.56.... Coefficienti di perdita di carico localizzata di alcuni tipi di cappe.	3-80
fig. 3.57.... Schema dell'impianto di captazione di polveri dell'esempio.....	3-81
fig. 3.58.... Abaco delle perdite di carico distribuite per le tubazioni di captazione delle polveri.....	3-82
fig. 3.59.... Sub-iperboli di rischio.	3-83
fig. 3.60.... Il processo di sviluppo dell'incidente, secondo Houston.	3-86
fig. 3.61.... Azioni rivolte alla sicurezza antincendio.	3-89
fig. 3.62.... Ottimizzazione dei costi di prevenzione degli incendi.....	3-90
fig. 3.63.... Fasi tipiche di evoluzione dell'incendio.....	3-96
fig. 3.64.... Colore identificativo delle ogive delle bombole di gas compressi.....	3-99
fig. 3.65.... Segnalazioni delle tipologie di prodotto.....	3-102
fig. 3.66.... Segnalazioni di pericolo specifico.....	3-102
fig. 3.67.... Etichette di pericolo.....	3-103
fig. 3.68.... Classificazione degli incendi.....	3-106
fig. 3.69.... Curva UNI di variazione della temperatura nel tempo ed apparecchiatura per la determinazione della Resistenza al Fuoco . La curva è detta anche dell' <i>incendio standard</i> . In basso, la struttura di prova del Laboratorio LAPI di Prato, http://www.laboratoriolapi.it/	3-113
fig. 3.70.... Indicazioni di legge per l'installazione <i>fuori terra</i> di un serbatoio di GPL, di capacità inferiore o pari a 5m ³ , secondo il D.M. 31/03/84. In basso, a sinistra V<3m ³ , a destra V<5m ³	3-115
fig. 3.71.... Compartimentazione anche mediante strutture e sportelli tagliafuoco a chiusura automatica.....	3-120
fig. 3.72.... Impianto di rilevazione d'incendio.....	3-122
fig. 3.73.... Tipi di estintori portatili. A destra, il particolare del manometro.....	3-125
fig. 3.74.... Schema di un tipico impianto antincendio ad idranti.	3-130
fig. 3.75.... Abachi di portata e gittata degli idranti.....	3-131
fig. 3.76.... Idrante a colonna.	3-133
fig. 3.77.... Manichetta.....	3-134
fig. 3.78.... Schema di un tipico impianto antincendio a pioggia e particolare del comando. In basso a destra, due esempi di teste sprinkler (a scarica superiore ed inferiore), comandate dallo scoppio di ampole di quarzo riempite di liquido, che si dilata all'aumentare della temperatura.	3-135
fig. 3.79.... Schema dell'impianto fisso di preparazione della miscela schiumogena, a protezione di un serbatoio di stoccaggio di infiammabili.....	3-137
fig. 3.80.... Schema di impianto a CO ₂	3-139
fig. 3.81.... Autoprotettore a ciclo chiuso.	3-140
fig. 3.82.... Spazio delle fasi del transistor la cui qualità è caratterizzata dal guadagno β e dal livello di rumore N.	3-145
fig. 3.83.... Funzione empirica di affidabilità.	3-148

fig. 3.84. ... Determinazione del rischio di guasto empirico mediante una prova sperimentale.	3-151
fig. 3.85. ... Curva tipica del rischio di guasto di un articolo.....	3-152
fig. 3.86. ... Andamento ciclico dell'utilizzazione di una macchina o di un impianto in ambiente industriale.	3-153
fig. 3.87. ... Ottimizzazione della Manutenzione.....	3-154
fig. 3.88. ... Rapporti tra Funzione Manutenzione e gli altri Sistemi Aziendali.	3-155
fig. 3.89. ... Componenti del programma di manutenzione.	3-156
fig. 3.90. ... Raccolta dei dati storici delle avarie di N articoli uguali dell'impianto.....	3-159
fig. 3.91. ... Distribuzione di tipo gaussiano del tempo di avaria degli articoli.....	3-159
fig. 3.92. ... Andamento delle funzioni di Affidabilità durante il Rodaggio.....	3-162
fig. 3.93. ... Andamenti delle funzioni di Affidabilità durante la Vita Utile.....	3-163
fig. 3.94. ... Andamento delle funzioni di Affidabilità durante l'Invecchiamento.	3-163
fig. 3.95. ... Articoli di un sistema, collegati in serie dal punto di vista dell'affidabilità.	3-166
fig. 3.96. ... Articoli di un sistema, collegati a ridondanza semplice in parallelo dal punto di vista dell'affidabilità. Esempi: a) 2 pompe in grado di dare ciascuna la portata richiesta, ma usualmente impiegate contemporaneamente a metà carico, b) 2 motori di un quadrimotore, quando 2 soli di essi sono in grado di sostenere l'aereo.....	3-167
fig. 3.97. ... Articoli di un sistema collegati in ridondanza a funzionamento sequenziale, in parallelo dal punto di vista dell'affidabilità. Esempi: a) doppio sistema di alimentazione del combustibile di un generatore di vapore, b) gruppo elettrogeno di riserva per la generazione di energia elettrica, c) ruota di scorta autovettura.....	3-168
fig. 3.98. ... Caso di stato di guasto di un articolo e subentro sequenziale di quello di scorta.	3-168
fig. 3.99. ... Cicli di funzionamento di un articolo.....	3-169
fig. 3.100. Disponibilità asintotica A :valore asintotico della disponibilità puntuale.....	3-170
fig. 3.101. Analisi di dettaglio del Down Time dell'articolo.....	3-170
fig. 3.102. Abaco di calcolo della disponibilità.....	3-171
fig. 3.103. Ottimizzazione della funzione preventiva.....	3-174
fig. 3.104. Andamento degli interventi secondo la politica ispettiva.	3-176
fig. 3.105. Distribuzione dell'impiego di ricambi nel Diagramma di Pareto e caratteristiche dei ricambi BIR.....	3-179
fig. 3.106. Schema del layout funzionale dell'impianto.....	3-181
fig. 3.107. Diagramma di Pareto di una macchina dell'impianto.....	3-183
fig. 3.108. Indici di affidabilità, manutenibilità e disponibilità della macchina 01.....	3-187
fig. 3.109. Ottimizzazione della funzione preventiva.....	3-188

INDICE DELLE TABELLE

tab. 3.I. Campi di velocità nelle condotte, in m/s.....	3-4
tab. 3.II. ... Caratteristiche dei tubi di acciaio al carbonio commerciali, lisci, trafilati a caldo, senza saldatura e saldati, per condotte d'acqua, rivestiti. Costr. DALMINE, secondo EN 10224.....	3-5
tab. 3.III... Tubi Gas, di acciaio Commerciali, filettati con manicotto. Prod. DALMINE, secondo UNI7684.	3-7
tab. 3.IV... Norme di riferimento e Gradi di Acciaio.....	3-7
tab. 3.V.... Tubi di classe superiore. Condizioni di fornitura.....	3-7
tab. 3.VI... Tubi di classe superiore (per scambiatori di calore e caldaie). Abaco parziale spessore-diametro dei tubi senza saldatura trafilati a freddo diritti, Costr. DALMINE, secondo UNI EN 10204.....	3-8

3. SERVIZI AZIENDALI

tab. 3.VII..Tubi di classe superiore (per scambiatori di calore e caldaie). Esempi di corrispondenza tra le Norme Europee EN, il Grado di Acciaio ed alcune norme nazionali abrogate od ancora in vigore.	3-9
tab. 3.VIII.Tubi di classe superiore (per scambiatori di calore e caldaie). Esempi di corrispondenza tra i Gradi di Acciaio nella Norma europea EN10297-1 e nelle Norme Nazionali ancora vigenti.....	3-9
tab. 3.IX. ..Prodotti a saldare. Materie plastiche impiegate nel piping, Costr. GEORG FISCHER, http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-10
tab. 3.X. ...Esempio di catalogo di tubi a saldare. Tipo PE, Costr. GEORG FISCHER.	3-10
tab. 3.XI. ...Esempio di catalogo di tubo da incollare PVC-U, serie S10, SDR21, secondo DIN8061, in barre da 5m. Costr. GEORG FISCHER.	3-11
tab. 3.XII. Colori unificati delle tubazioni.....	3-12
tab. 3.XIII. Prodotti da incollare. Materie plastiche impiegate nel piping, Costr. GEORG FISCHER, http://www.piping.georgfischer.com/index.cfm	3-14
tab. 3.XIV. Perdite di carico localizzate nei raccordi, valori di ξ	3-17
tab. 3.XV. Raggruppamento delle caratteristiche di un raccordo A , secondo EN10242.	3-17
tab. 3.XVI. Coefficienti di dilatazione lineare di alcuni materiali [$m/(m \cdot K)$]	3-35
tab. 3.XVII. Estratto del catalogo TUBIFLEX. Compensatori di dilatazione a soffiello di acciaio inox, del tipo AS di fig. 3.29.	3-40
tab. 3.XVIII. Perdite di carico dei tubi di acciaio senza saldatura, secondo Hazen-Williams. Estratto di http://www.oppo.it/	3-49
tab. 3.XIX. Valori consigliati della perdita di carico distribuita delle tubazioni.	3-65
tab. 3.XX. Perdite di carico localizzate nelle tubazioni, espresse in lunghezza equivalente di tubo rettilineo [m].	3-68
tab. 3.XXI. Contropressione consigliata massima, dovuta alla rievaporazione.	3-70
tab. 3.XXII. Condizioni di dispersione delle particelle.	3-78
tab. 3.XXIII. Richieste d'aria di captazione.....	3-79
tab. 3.XXIV. Limiti di velocità per un buon trascinamento delle polveri.	3-79
tab. 3.XXV. Estratto delle attività elencate nel D.M. 16/02/1982	3-94
tab. 3.XXVI. Tipologie di incendi ed esplosioni da combustibili liquidi e gassosi.	3-98
tab. 3.XXVII. Tempo massimo di esposizione dell'uomo al CO	3-100
tab. 3.XXVIII. Possibilità di autoaccensione di combustibili.....	3-104
tab. 3.XXIX. Energia radiante sulla superficie esposta [kW/m^2], effetti sull'uomo	3-105
tab. 3.XXX. Effetti dell'incendio sui materiali da costruzione, valori da <i>Software SIGEM-SIMMA Ministero dell'Interno - C.N.VV.F.</i>	3-105
tab. 3.XXXI. Agenti sostitutivi degli Halon, tratti dallo standard NFPA 2001:.....	3-110
tab. 3.XXXII. Potere Calorifico Inferiore di alcuni materiali.....	3-111
tab. 3.XXXIII. Relazione tra Carico di Incendio, valutazione del rischio e durata dell'incendio, secondo la normativa inglese.	3-112
tab. 3.XXXIV. Caratteristiche di resistenza al fuoco degli elementi strutturali degli edifici.....	3-112
tab. 3.XXXV. Determinazione della superficie delle aperture di ventilazione.....	3-119
tab. 3.XXXVI. Caratteristiche degli estintori.....	3-127
tab. 3.XXXVII. Stesura dello storico delle avarie degli articoli in forma tabellare, nelle varie classi di durata [h].	3-158
tab. 3.XXXVIII. Tabella riassuntiva delle definizioni degli Indici di Affidabilità	3-161
tab. 3.XXXIX.Alcuni dati di rischio di guasto di articoli meccanici, ricavati dalle banche dati.....	3-165
tab. 3.XL. Costanti per il calcolo della frequenza delle ispezioni durante l'invecchiamento dell'articolo.....	3-177
tab. 3.XLI.....Diario degli interventi correttivi della macchina 06	3-183
tab. 3.XLII. Diario degli interventi preventivi della macchina 06	3-183
tab. 3.XLIII. Calcolo degli indici di affidabilità dei componenti la macchina 01	3-184