

Montaggio e protezione delle tubazioni

MONTAGGIO E PROTEZIONE DELLE TUBAZIONI

33.1 POSSIBILI COLLOCAZIONI DELLE TUBAZIONI

Esaminiamo le modalità di sistemazione e posa in opera delle tubazioni che provvedono al trasporto dei fluidi occorrenti in un impianto industriale.

All'interno dei fabbricati industriali (ad un solo piano), le tubazioni possono essere installate sopra od immediatamente sotto il filo catena, nell'*intercolumnio* dei pilastri, oppure in *cunicoli* o piccole gallerie realizzati sotto il pavimento.

All'esterno le tubazioni possono essere interrati¹ oppure montate su apposite strutture metalliche (*pipe rack*) o dentro cunicoli.

La sistemazione esterna è indispensabile per le tubazioni convoglianti fluidi pericolosi.

La figura 33.1 fornisce una casistica di tali sistemazioni.

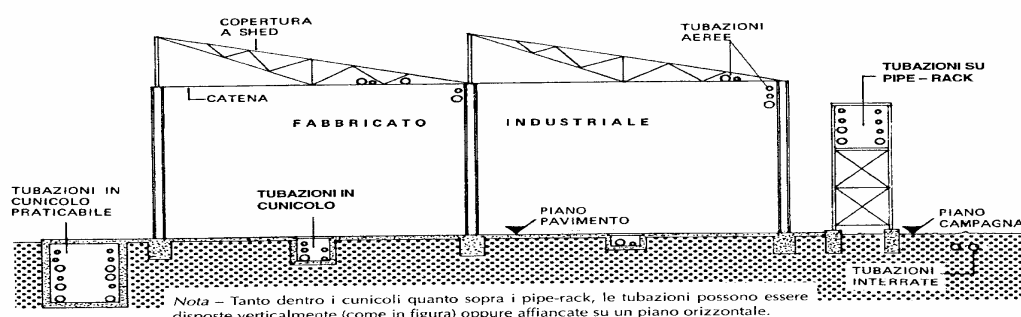


Fig. 33.1 – Possibili collocazioni delle tubazioni per l'alimentazione di fluidi alle utenze industriali.

(1) In regioni aventi un clima paragonabile a quello dell'Italia settentrionale ed a quote inferiori ai 1000 m, per proteggere dal gelo le tubazioni interrate contenenti acqua, si installano le stesse a profondità non minori di 60÷100 cm dal piano campagna, a seconda della natura del terreno (le profondità sono riferite alla generatrice superiore del tubo).

Nell'interno dei fabbricati è preferibile installare in alto le **tubazioni di alimentazione** dei fluidi alle utenze (purché diametri e pesi lo consentano): infatti, l'installazione aerea permette facili ispezioni e modifiche del *sistema* di tubazioni (nel caso di spostamento delle utenze esistenti o di installazione di utenze nuove)².

La sistemazione di tali tubazioni in cunicoli ricavati sotto il pavimento dei fabbricati è adottata quando l'alimentazione delle utenze dall'alto è impedita o resa difficoltosa da carriponte od altri ostacoli³.

Per contro, le tubazioni che provvedono alla raccolta ed al recupero dei fluidi scaricati dalle utenze con

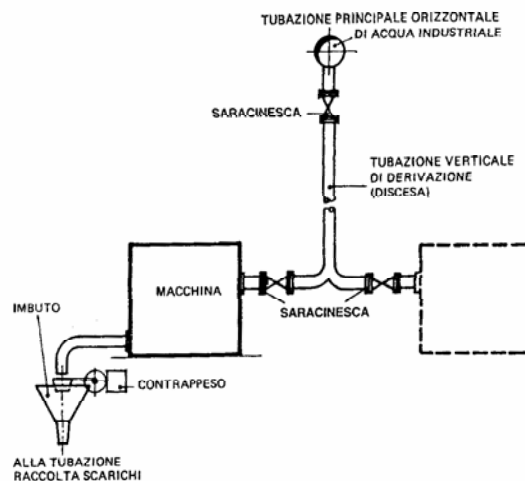


Fig. 33.2 – Derivazione per l'alimentazione di acqua industriale alle macchine.

¹ In regioni aventi un clima paragonabile a quello dell'Italia settentrionale, ed a quote inferiori ai 1000 m, per proteggere dal gelo le tubazioni interrate contenenti acqua, le stesse si installano a profondità non inferiori a 60 – 100 cm dal piano di campagna, a seconda della natura del terreno (profondità riferite alla generatrice superiore del tubo).

² Quando le tubazioni sono aeree, l'alimentazione dei fluidi alle utenze singole avviene a mezzo di tubazioni verticali (discese) derivate dalle tubazioni principali; in genere, ogni discesa è dotata di una saracinesca (per intercettazione) nei pressi della derivazione, ed una in prossimità dell'utenza (fig.33.2).

³ se il fabbricato industriale è dotato di sottopiano, è, in genere, conveniente installare le reti di tubazioni a soffitto del sottopiano stesso, allacciandole alle utenze mediante derivazioni che attraversano la soletta ed il pavimento dell'officina.

Montaggio e protezione delle tubazioni

pressioni residue pressoché nulle, sono disposte in cunicoli od interrate sotto il piano del pavimento.

In quest'ultimo caso, devono essere però predisposti opportuni pozzetti di ispezione in corrispondenza di diramazioni, cambiamenti di direzione, o su tratti anche rettilinei, ma molto lunghi ($> 30 - 40$ m): è il caso tipico delle fognature o delle reti di recupero delle acque di impiego tecnologico (fig. 33.3).

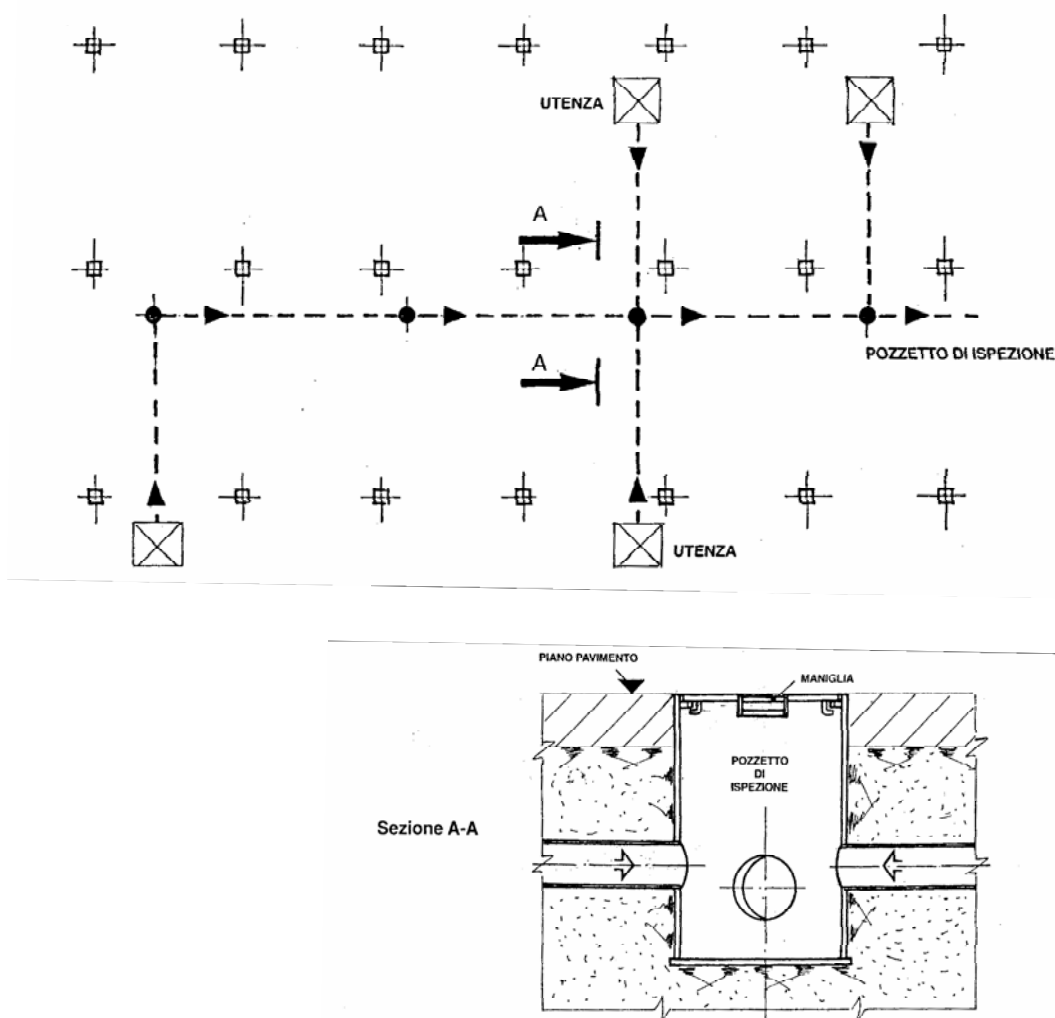


Fig. 33.3 – Rete interrata per il recupero di acque di raffreddamento, con pozzetti di ispezione.

I cunicoli sono ricoperti da solette in cemento armato, da lamiere di acciaio striato o bugnato (fig. 33.4), o da grigliati. Evidentemente tali coperture devono essere adatte a sopportare i carichi mobili operanti in officina, senza cedimenti né deformazioni.

La figura 33.5 illustra due tipi di appoggi per le coperture metalliche dei cunicoli.

I cunicoli vengono dotati di pozzetti per lo scarico dell'acqua in essi caduta accidentalmente, oppure utilizzata per la loro pulizia; i pavimenti dei cunicoli stessi devono essere quindi in pendenza per facilitare il deflusso naturale dell'acqua verso i pozzetti di scarico.

Pur in uno stesso fabbricato industriale, sovente le tubazioni sono installate parte in cunicolo e parte aeree (fig. 33.6).

Quando si devono sistemare più tubazioni aeree affiancate, si ricerca la disposizione che riduca meno possibile l'illuminazione proveniente dalle finestrate del fabbricato.

Lo schema della figura 33.7 indica, nel caso di una copertura a shed, una ubicazione conveniente per soddisfare tale esigenza.

Montaggio e protezione delle tubazioni

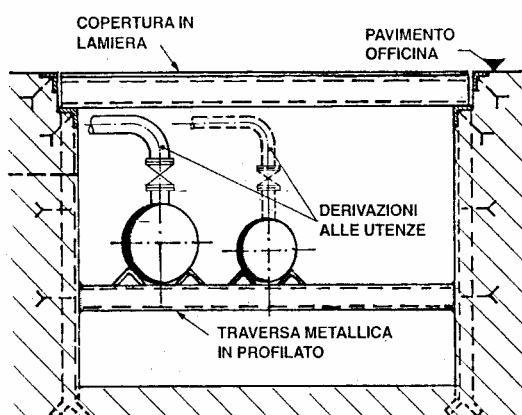


Fig. 33.4 – cunicolo per tubazioni di servomezzi, con copertura in lamiera.

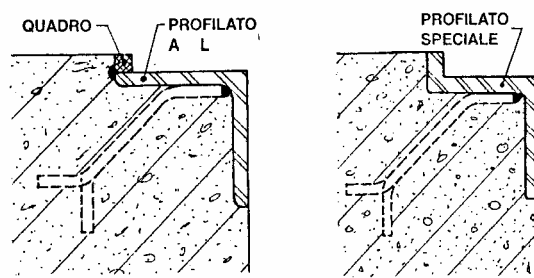


Fig. 33.5 – Corniere per l'appoggio delle lamiere

33.2 PENDENZA DELLE TUBAZIONI

Le tubazioni devono sempre essere dotate di una adeguata pendenza al fine di consentire, all'occorrenza, il loro svuotamento. Se il fluido convogliato nei tubi è un liquido, si deve anche favorire la raccolta, nelle parti alte della rete, dell'aria che si libera (da tali punti l'aria può essere evacuata attraverso appositi scaricatori, a comando manuale od automatico).

Le *pendenze adottate* per le tubazioni percorse dai fluidi variano, orientativamente da $0,2\% \div 0,5\%$.

Sovente, e soprattutto quando le caratteristiche altimetriche del terreno lo consentono, lo stesso fabbricato industriale o la sua copertura, viene costruito con una certa pendenza (fino allo 0,3% se sono previsti carriponte o binari ferroviari; fino all'1% quando tali mezzi mancano e non vi sono difficoltà di sistemazione del macchinario);

Ciò facilita lo scarico delle acque piovane e lo svuotamento delle tubazioni convoglianti servomezzi liquidi.

Quando il fabbricato è in piano e lo spazio disponibile per realizzare le pendenze delle tubazioni è limitato (tanto nel caso delle tubazioni installate sopra il filo catena, quanto nel caso di tubazioni posate in cunicolo), si alternano tratti di tubazioni in salita tratti in discesa, in modo da sfruttare convenientemente lo spazio stesso (fig. 33.8.a).

In altri casi, i tubi sono disposti in pendenza secondo una sola direzione: il recupero di pendenza è ottenuto prevedendo, in posizioni appropriate, tratti di tubazione verticali o subverticali, oppure, tronchi di tubo a tenuta, denominati *barilotti*, disposti verticalmente, nei quali si immette la tubazione in arrivo, e dai quali si diparte, ad altezza superiore, la tubazione in uscita (un tipo di barilotto è riportato in figura 33.8.b).

Se il fluido è gassoso e trascina condensa od altri liquidi, sia pure in piccole quantità, tipico è il caso dell'aria compressa non essiccata, la pendenza data alle tubazioni permette di raccogliere nei punti bassi il liquido, che può poi essere evacuato con appositi scaricatori, a comando manuale od automatico (fig. 33.9): in tal modo, si evita che il liquido, raccogliendosi nella parte inferiore del liquido, riduca la sezione utile delle condotte.

La figura 33.10 mostra un esempio di sistemazione degli scarichi dell'acqua da tubazioni: sono visibili le saracinesche di intercettazione.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Le tubazioni verticali di scarico sono, in genere, installate presso colonne o pareti.

Come si è detto, le tubazioni di raccolta degli scarichi vengono interrate sotto il pavimento oppure, installate dentro cunicoli.

Tali tubazioni devono avere diametro maggiore di 100 mm ed una pendenza non inferiore a 0,3 – 1% in modo da assicurare il *deflusso dell'acqua a gravità* (cioè non in pressione).

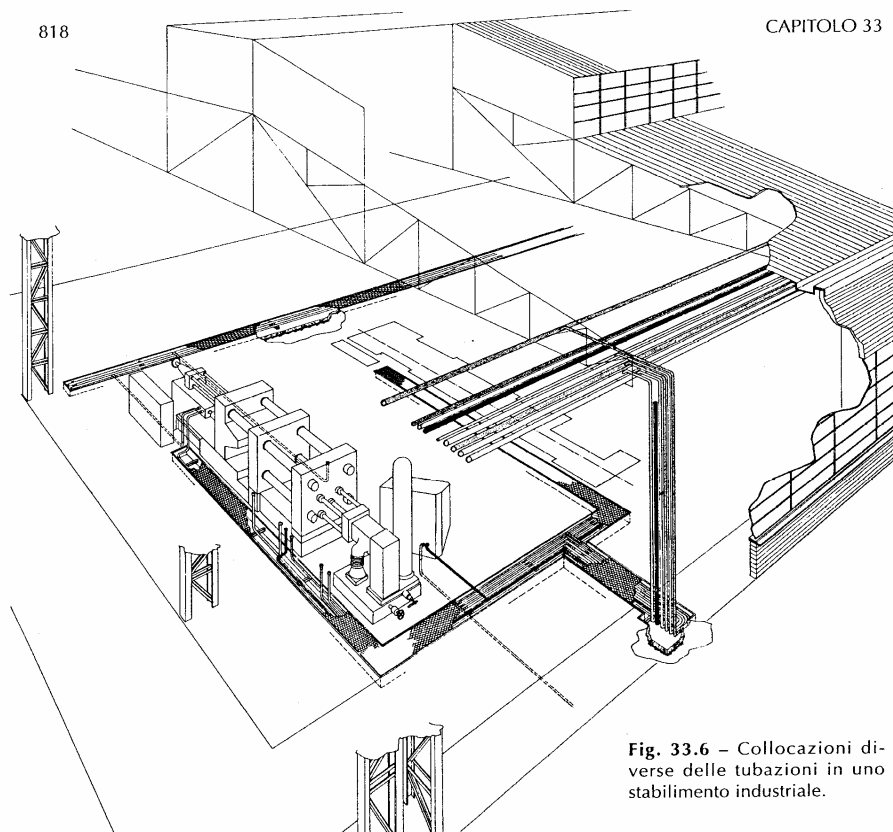


Fig. 33.6 – Collocazioni diverse delle tubazioni in uno stabilimento industriale.

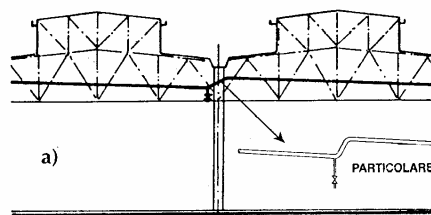
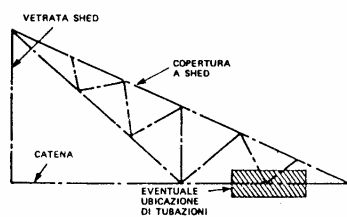


Fig. 33.7 – Possibile posizionamento delle tubazioni in corrispondenza di una capriata.

Montaggio e protezione delle tubazioni

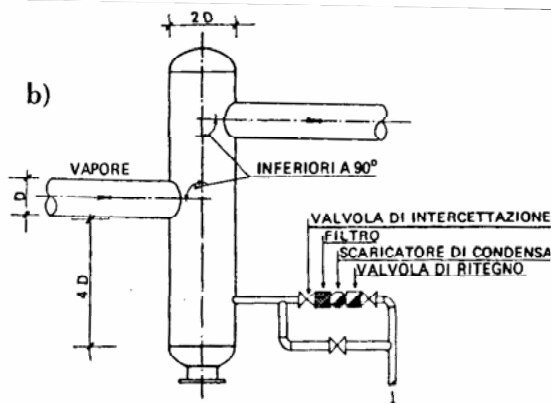


Fig. 33.8 – Accorgimenti atti a consentire un recupero di quota delle tubazioni.

33.3 COLLAUDO DELLE RETI

I tubi, prima di essere posti in opera, devono essere scovolati internamente in modo da asportare eventuali corpi estranei, incrostazioni ed ossidi superficiali.

Particolare attenzione va rivolta alle saldature dei tubi, per le quali occorre imporre alla ditta installatrice prescrizioni ben precise (allineamento dei tubi prima della saldatura, smussatura delle estremità degli stessi, tipo e spessore delle saldature).

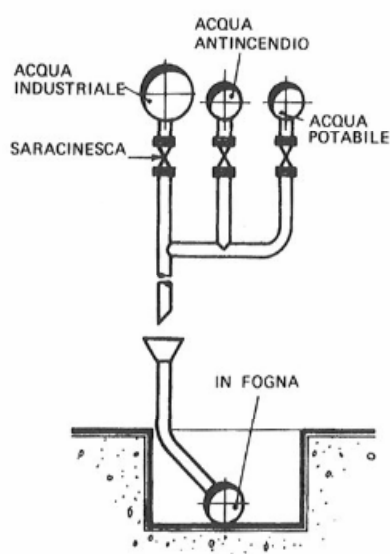


Fig. 33.10 – Scarichi tubazioni acqua interne agli stabilimenti.

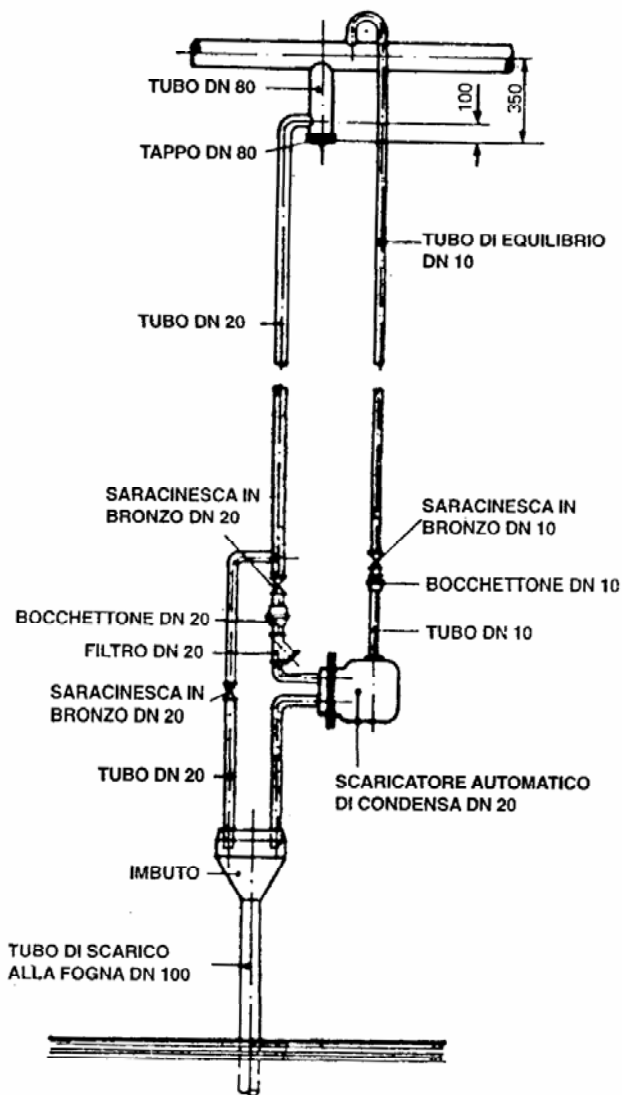


Fig. 33.9 – Scaricatore di condensa per reti (in acciaio) di distribuzione dell'aria compressa.

Le reti di tubazione sono generalmente collaudate mediante acqua in pressione (prova idraulica): il collaudo consiste nel riempire le reti di acqua, la quale viene poi compressa con una pompa, fino alla **pressione di collaudo**; tale pressione è, in genere, pari a **1,5 volte la pressione massima di esercizio** del fluido convogliato dalla rete.

Nel caso di tubazioni con basse pressioni di esercizio e/o grande diametro, si può eseguire il collaudo mediante aria compressa: le eventuali perdite dalle saldature sono evidenziate spalmando acqua saponata sulle stesse, previa pulitura.

Montaggio e protezione delle tubazioni

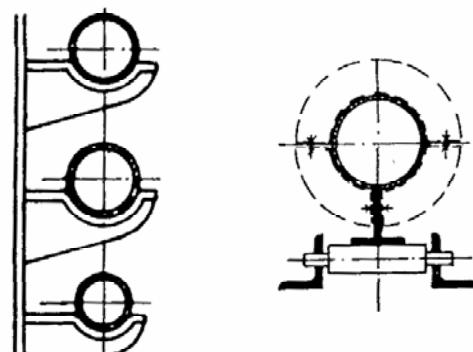
33.4 SUPPORTI

Tanto per le tubazioni aeree o su pipe – rack, quanto per quelle in cunicolo, si pone il problema di sostenere le tubazioni stesse. A tal fine, si devono prevedere lungo il loro percorso opportuni supporti in grado di sostenere il peso delle tubazioni e del fluido convogliato: in altre parole, le tubazioni devono appoggiare su dei sostegni (denominati anche *staffaggi*) che hanno il compito di limitare la freccia di inflessione a valori accettabili, impedendo la formazione di sacche in cui possa stagnare il fluido, nonché di limitare le sollecitazioni sui tubi e sugli attacchi delle macchine, pompe ed apparecchiature.

Allorquando la temperatura del fluido convogliato in una tubazione è variabile nel tempo, la scelta del tipo di staffaggio ed il relativo posizionamento devono anche tenere conto delle *dilatazioni termiche indotte* (le dilatazioni dipendono, ovviamente, sia dalle variazioni di temperatura del fluido, sia dal tipo di materiale costituente il tubo).

I tipi di staffaggi di più frequente impiego sono i seguenti:

- 1) **supporto normale**: provvede a scaricare il peso della tubazione e del fluido in essa contenuto su una struttura portante, che può essere parte integrante del fabbricato, oppure una struttura predisposta allo scopo. La figura 33.11 illustra due tipi di supporto normale: il primo si usa sovente dentro i forni; quello con i rulli è particolarmente adatto per tubazioni convoglianti fluidi caldi, in quanto soggette a dilatazioni notevoli.



- 2) **Supporto con guida** (figura 33.12): ha lo stesso compito del supporto normale ed impedisce ogni movimento trasversale della tubazione. Viene usato per ridurre la lunghezza libera di inflessione trasversale della tubazione, per limitare la frequenza di vibrazione di una tubazione orizzontale e per guidare la tubazione durante le dilatazioni termiche.

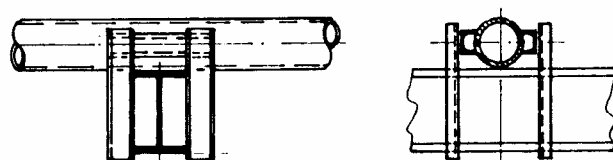


Fig. 33.12 – Guide di una tubazione.

Montaggio e protezione delle tubazioni

- 3) **Supporto a punto fisso** (o semplicemente **punto fisso**: realizza un ancoraggio fisso, in corrispondenza del quale la tubazione non è sottoposta a traslazioni o rotazioni. Di solito, sono fissi i punti di attacco dei tubi agli impianti. Altri punti fissi vengono realizzati lungo le reti in posizioni opportune: ad esempio, è buona norma avere un ancoraggio rigido in corrispondenza delle diramazioni dei tubi aventi diverso diametro (per evitare che le differenti dilatazioni insorgenti nei tubi causino sollecitazioni troppo gravose sul tubo avente momento di inerzia minore). Normalmente, i punti fissi sono realizzati saldando un profilato metallico, fra i tubi ed una struttura rigida (figura 33.13).

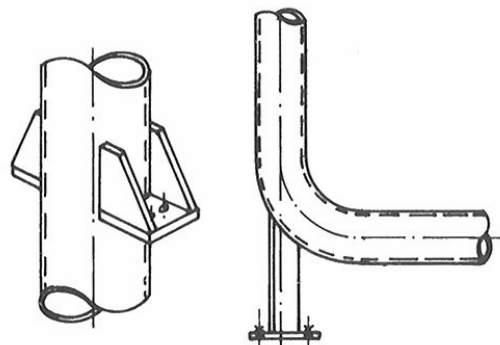


Fig. 33.13 – Punti fissi di tubazioni.

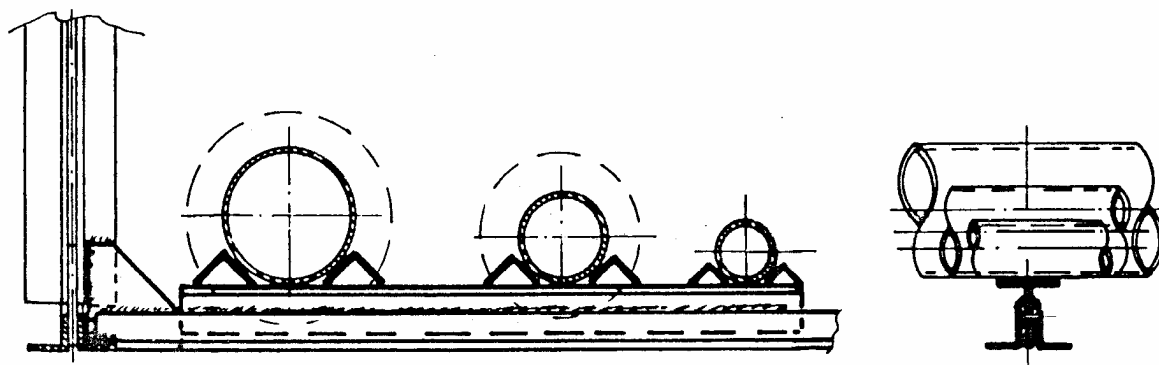


Fig. 33.14 – Staffaggio per il sostegno di tubazioni su una struttura di copertura in acciaio.

Consideriamo alcuni esempi di staffaggi per tubazioni di acqua, aria, e simili. La figura 33.14 illustra uno staffaggio costituito da profilati installati a filo catena (ad esempio di una struttura a shed) la figura 33.15 fornisce un esempio di staffaggio del tipo a sospensione: il tratto verticale del supporto è filettato ad una estremità, ragione per cui risulta possibile regolare la quota del tubo in modo da realizzare le pendenze occorrenti.

Nel caso che si debbano sostenere più tubazioni, si può ricorrere ad una soluzione del tipo indicato in figura 33.16.

Citiamo, infine, il tipo di staffaggio di figura 33.17. si tratta di profilati speciali che vengono fissati, a distanze prestabilite, mediante zanche annegate nelle parti murarie dei fabbricati, oppure, se i fabbricati sono metallici, mediante saldature o bullonature alle strutture del fabbricato stesso.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Le tubazioni sono sostenute con supporti fissati ai profilati suddetti mediante dei bulloni. In tal modo risulta possibile regolare la pendenza delle tubazioni, aggiungere altri tubi e così via.

Ovviamente, le distanze fra due supporti consecutivi dipendono dal diametro, dallo spessore e dal materiale costituente il tubo, oltre che dal peso specifico del fluido convogliato e dal peso dell'eventuale rivestimento isolante termico del tubo.

Nel determinare il peso da sopportare, si deve anche tener conto di valvole, raccordi, curve, etc.

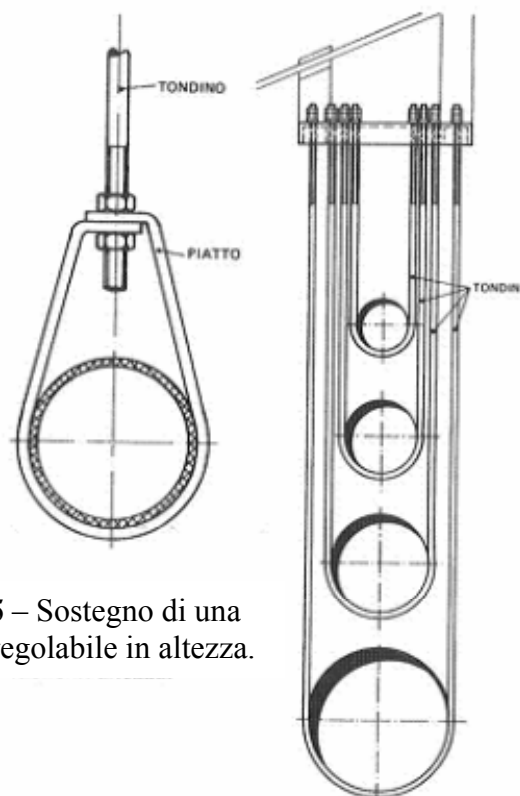


Fig. 33.15 – Sostegno di una tubazione regolabile in altezza.

Fig. 33.16 – Staffaggio atto a sostenere più tubazioni aeree sovrapposte.

Per la determinazione delle suddette distanze si considera la tubazione come una trave semi incastrata soggetta a carico uniformemente ripartito; in tali condizioni la freccia vale:

$$(33.1) \quad f'_m \approx 0.01 \frac{q l^4}{E j}$$

dove:

- f'_m = freccia di inflessione (cm);
- q = carico uniformemente distribuito (Kg/cm);
- l = lunghezza del tubo fra due appoggi consecutivi (cm);
- E = modulo di elasticità del materiale costituente il tubo (bar);
- J = momento di inerzia del tubo (cm⁴).

In pratica, si impone che la freccia non superi un valore prestabilito, di solito pochi millimetri, solo nel caso di tubazioni di diametro maggiore di 200 mm si possono accettare frecce di 10 - 20 mm.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Nel caso di tubi in acciaio, le distanze tra due staffaggi consecutivi non dovrebbero superare i seguenti valori orientativi:

diametro tubazione	Distanza fra i supporti
DN	(m)
25	2.5
40	3
50	3.5
75	4
100	4.5
150	5.5
200	6.2
250	7.2
300	7.5

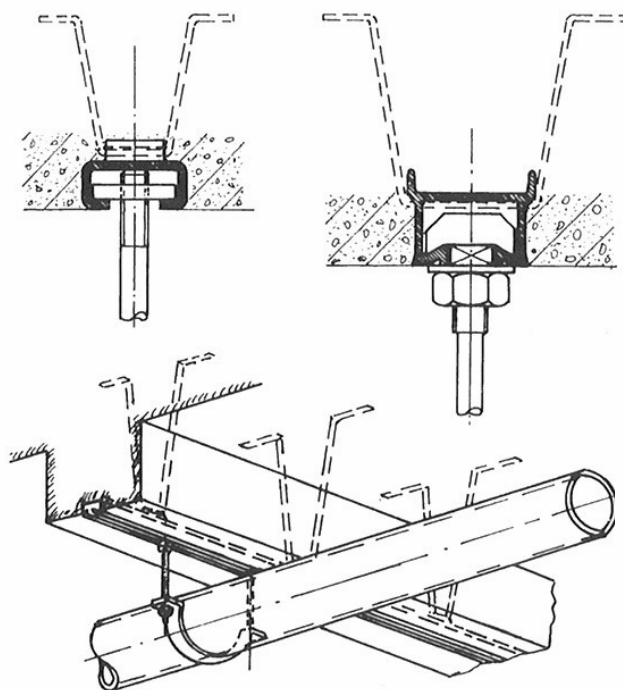


Fig. 33.17 – Staffaggio speciali per tubazioni ,
condotte, sbarre, canaline.

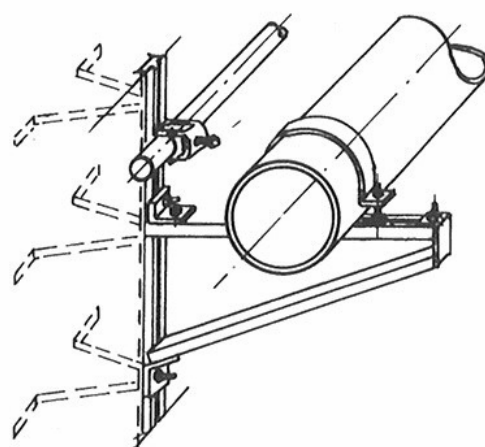


Fig. 33.17 bis – Staffaggio speciali per tubazioni,
condotte, sbarre, canaline.

Montaggio e protezione delle tubazioni

33.5 PROTEZIONE DELLE TUBAZIONI

1. Protezione delle tubazioni interrato

I tubi interrati, se metallici, sono soggetti a fenomeni aggressivi che possono provocarne rapidamente la corrosione⁴.

Tali fenomeni sono essenzialmente dovuti ad azioni elettrochimiche fra metallo e soluzioni saline presenti nel terreno.

In altri termini, si verifica un fenomeno analogo a quello della pila galvanica: un elettrolita trasferisce gli ioni positivi dall'anodo al catodo, e l'anodo, dopo un certo tempo di funzionamento della pila, appare corrosivo.

Nel caso dei tubi di acciaio interrati, l'umidità del terreno può costituire l'elettrolita, ed in certe zone della superficie esterna dei tubi possono formarsi degli elettrodi, mentre il circuito elettrico si chiude attraverso i tubi. La corrente elettrica parte dagli elettrodi positivi, e, attraverso l'elettrolita, giunge agli elettrodi negativi; in corrispondenza dei primi si manifestano corrosioni, mentre sui secondi avviene la reazione catodica di riduzione dell'ossidante (ossigeno).

Il processo di corrosione può venire esaltato in seguito ad alcune situazioni particolari, quali:

- la presenza di **correnti elettriche vaganti** disperse da binari di ferrovia a trazione elettrica, continua od alternata (in quest'ultimo caso, la corrente viene raddrizzata dal terreno); le correnti entrano nei tubi in corrispondenza dei catodi ed escono dagli anodi (dove si verifica la corrosione) per ritornare verso i binari ferroviari;
- particolari caratteristiche del terreno in cui i tubi sono sistemati;
- l'azione di microrganismi;
- l'inserimento di tronchi di tubi nuovi in una tubazione interrata da tempo: i tronchi nuovi si comportano come anodi e, se il loro sviluppo è limitato, sono soggetti ad una intensa corrosione.

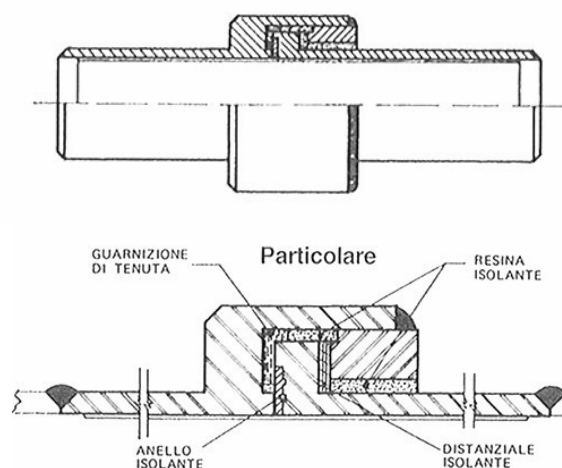
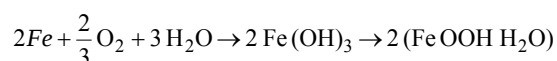


Fig. 33.18 – Giunto dielettrico per tubazioni interrato.

⁴ Si chiama **corrosione ad umido** l'alterazione chimica che subiscono i metalli a contatto con un elettrolita, e soggetti all'azione di un agente ossidante (ossigeno). Tale alterazione è di origine elettrochimica ed avviene ad una velocità che dipende dal metallo, dall'elettrolita e dalla temperatura.

Nel caso del ferro, la reazione è:



In ambiente neutro (pH 7), il ferro si scioglie nell'elettrolita liberando ioni positivi che precipitano come ossidi idrati (ruggine).

Montaggio e protezione delle tubazioni

I fenomeni aggressivi del terreno possono essere attenuati od addirittura eliminati ricorrendo ai seguenti **sistemi protettivi**:

a) installazione, lungo le tubazioni interrato, di giunti di isolamento elettrico (**giunti dielettrici**), atti ad interrompere la continuità elettrica delle tubazioni stesse (figura 33.18);

b) **protezione catodica**, ottenuta collegando il polo negativo di una sorgente di corrente continua con la tubazione, ed il polo positivo della stessa sorgente con anodi interrati. La differenza di potenziale (negativa) che si viene ad avere fra il terreno e la tubazione fa sì che quest'ultima funzioni da catodo (fig. 33.19); in tal modo, si impedisce la solubilizzazione del metallo;

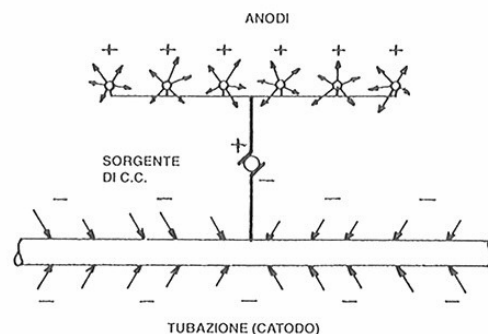


Fig. 33.19 – Protezione catodica delle tubazioni in acciaio interrato.

c) **rivestimento** dei tubi con **materiali impermeabili** all'acqua, ottenuto applicando successivamente sui tubi i seguenti strati:

- primo strato di bitume caldo liquido;
- secondo strato di miscela bituminosa dopo il raffreddamento del primo;
- fasciatura elicoidale con doppio strato di feltro di lana di vetro impregnato di bitume⁵;
- applicazione di uno strato di **idrato di calce** per rendere bianca la superficie esterna.

d) **Rivestimento di polietilene applicato per estrusione** sulla superficie grezza nel caso di tubi impiegati per costruire condotte di metano; quando i tubi sono destinati a convogliare acqua, la superficie esterna viene preventivamente zincata;

e) **Rivestimenti con nastri di materia plastica autoadesivi** od **impregnati di bitume**, avvolti a spirale sui tubi, previa accurata spazzolatura e verniciatura antiossidante dei tubi stessi. I nastri vengono preferibilmente applicati alla temperatura di 18 – 20 °C e **mai** a temperature inferiori a 0 °C o superiori a 75 °C. Questo rivestimento è in special modo utilizzato per la protezione dei tronchi di raccordo e delle estremità dei tubi sottoposti a saldatura;

f) La norma **UNI 6363 - 84** elenca anche rivestimenti esterni dei tubi in acciaio a base di polietilene (partendo dalla relativa polvere e fondendola), resine epossidiche, metallizzazione, galvanizzazione a caldo.

I tubi protetti secondo le modalità indicate nei punti c) – f) sono, in pratica, chiamati **tubi rivestiti esternamente**. Tali tubi devono ovviamente essere manipolati con cura, al fine di evitare deterioramenti dei rivestimenti stessi (ed in corrispondenza di tali deterioramenti potrebbero formare focolai di corrosione).

È necessario ripristinare il rivestimento esterno delle tubazioni, sia in corrispondenza dei tratti deteriorati, sia in corrispondenza dei giunti fra i vari tubi, riproducendo nel miglior modo possibile il rivestimento originale.

⁵ Nel caso dei rivestimenti di tipo pesante, al feltro di lana di vetro si sovrappone una fasciatura elicoidale con tessuto in lana di vetro impregnato di bitume.

Montaggio e protezione delle tubazioni

2. Protezione interna delle tubazioni

Oltre che dagli agenti esterni, i tubi in acciaio devono essere sovente protetti anche dagli agenti contenuti nel fluido convogliato (dei tubi in ghisa si è già detto).

Tabella 33.1 – Tubi in acciaio rivestiti esternamente e bitumati internamente

diametro nominale	Diametro esterno	Massa lineica
DN	mm	Kg/m
100	114.3	2.62
125	139.7	3.47
150	168.3	4.18
200	219.1	5.92
250	273	7.37
300	323.9	8.75
350	355.6	1.04
400	406.4	11.9
450	457.2	15.5
500	508	17.2
550	558.8	21.8
600	609.6	23.7

Gli agenti chimici possono provocare fenomeni corrosivi, contro i quali si adottano i rimedi di seguito citati:

- 1) impiego di tubazioni con **rivestimento interno bituminoso**: tale protezione è ottenuta applicando uno strato di smalto di bitume per centrifugazione. Ai tubi che devono essere interrati, si applicano ancora, sulla superficie esterna, i trattamenti di cui al punto c) precedente, ottenendo i cosiddetti **tubi bituminati internamente** e con **rivestimento esterno**. La tabella 33.1 riporta alcune caratteristiche di tali tubi, impiegati per reti interrate di distribuzione dell'acqua fredda.
- 2) Applicazione per centrifugazione di **malta di cemento**, ottenendo tubi adatti a convogliare acqua di mare (in alternativa ai tubi di vetroresina).
- 3) Applicazione alla superficie interna delle tubazioni di rivestimenti costituiti di resine epossidiche, materie plastiche, metallizzazione, ecc.
- 4) Adozione di tubi in **materiali speciali**, come acciai inossidabili e le materie plastiche; per fluidi debolmente acidi o basici ed aventi temperature basse e concentrazioni si impiegano anche acciai legati.

Trattamento preliminare del fluido da convogliare ovvero impiego di reagenti chimici, detti **inibitori di corrosione**, atti ad impedire la corrosione mediante la formazione di pellicole protettive sul metallo; si hanno inibitori anodici (cromato di sodio, ossigeno), catodici (solfato di zinco, bicarbonato di calcio) e colloidali.

3. Protezione esterna delle tubazioni aeree

Le tubazioni di acciaio installate all'aperto o all'interno di uno stabilimento industriale sono di solito protette dai processi distruttivi dovuti agli agenti atmosferici (l'aria umida, per esempio, provoca ossidazioni superficiali).

Per ovviare o limitare le conseguenze provocate da tali agenti, si impiegano opportune **vernici protettive**, aventi colori o contrassegni che consentano la facile individuazione del fluido convogliato nelle singole tubazioni.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Tale protezione prevede, in genere, il seguente ciclo di trattamento:

- Pulitura e spazzolatura (o sabbiatura) delle superfici fino alla completa asportazione dello strato di ossido pulverulento;
- Applicazione di una mano di vernice protettiva (antiruggine);
- Applicazione di una o più mani di smalto clorosintetico, in modo da avere in ogni punto della superficie uno strato di vernice dello spessore minimo di 90 μm .

4. Rivestimento delle tubazioni convoglianti fluidi caldi o freddi.

Nel caso di tubazioni convoglianti fluidi caldi o freddi, ci si trova di fronte ad almeno una delle seguenti esigenze:

- a) proteggere dal gelo i liquidi contenuti nelle tubazioni;
- b) ridurre le dispersioni di calore verso l'esterno;
- c) evitare la condensazione dell'umidità presente nell'ambiente, lungo le superfici esterne delle tubazioni.

In tutti i casi suddetti si deve ricorrere a degli **isolamenti coibenti**, chiamati anche **rivestimenti termici**; nel caso c) essi prendono sovente il nome di **rivestimenti antistillicidio**, in quanto, evitando la condensazione del vapore acqueo atmosferico, presente nell'aria, sulle tubazioni, impediscono lo stillicidio della condensa.

Gli isolamenti coibenti sono realizzati mediante materiali di tipo **fibroso** o **cellulare**, aventi basso **coefficiente di conduttività χ** .

Come si può rilevare dalla figura 33.20, χ varia con la temperatura, in particolare, per le sostanze solide amorfe (costituenti la maggior parte degli isolanti) aumenta con la temperatura.

La bassa conduttività dei materiali è dovuta alla loro particolare costituzione, caratterizzata dalla presenza di cavità contenenti aria: le proprietà isolanti dipendono, infatti, dal rapporto pieno/vuoto, e sono tanto maggiori quanto è minore il valore di tale rapporto.

Le cavità possono essere intercomunicanti fra di loro (**cavità aperte**), o **chiuse**.

Per le esigenze c) è preferibile usare materiale a cavità chiusa.

Fra i materiali coibenti correntemente usati, ricordiamo:

- **per fluidi aventi temperatura inferiore alla temperatura ambiente** (ad esempio, ossigeno liquido a temperature inferiori ai 180 °C) **foamglas, fenolite, poliuretano, sughero espanso, lana di roccia o di vetro**.
- **per fluidi aventi temperatura superiore alla temperatura ambiente** (quali acqua surriscaldata, acqua calda, vapore a temperatura > 40 °C): **lana di roccia o lana di vetro**.

Per il rivestimento delle tubazioni gli isolanti vengono confezionati sotto forma di coppelle, materassini, corda. Tali isolanti sono tenuti in opera a mezzo di rete metallica zincata o di filo di acciaio zincato.

Il rivestimento finale esterno, avente scopi estetici e di protezione contro gli urti, può essere costituito da lamierino in acciaio zincato od alluminio; da intonaco di cemento o gesso, armato con rete di acciaio zincato; da vipla avvolta a spirale e tenuta in loco da opportuni collarini.

Montaggio e protezione delle tubazioni

I rivestimenti antistillicidio, previsti per tubazioni di fluidi a temperature minori della temperatura di rugiada per l'aria atmosferica, devono essere protetti da uno strato impermeabile al vapore, detto **barriera di vapore** (o **barriera al vapore**).

Lo scopo di tale barriera è quello di impedire che il vapore presente nell'aria atmosferica penetri nel materiale isolante.

Tale migrazione, che avviene essenzialmente nell'isolante a cavità aperte ed attraverso eventuali fessure dell'isolante a cavità chiuse, è la conseguenza della condensazione del vapore acqueo presente nell'aria dell'isolante, sulla tubazione e nell'isolante stesso, condensazione dovuta al raffreddamento del vapore al di sotto della sua temperatura di rugiada.

È noto, infatti, che, allorché si condensa vapore in un punto, avviene un abbassamento della pressione parziale del vapore in quel punto, e, quindi, un passaggio (per differenza di pressione) di altro vapore dalle zone circostanti nel punto stesso.

Quest'ultimo vapore, raffreddato al di sotto della temperatura di rugiada, si condensa a sua volta, richiamando altro vapore, e così via.

Il fenomeno di migrazione del vapore nell'isolante a cavità aperte si arresta allorché l'isolante è pieno d'acqua. Un isolante imbibito ha un potere coibente molto inferiore a quello dello stesso isolante, ma pieno di aria (***l'acqua ha un coefficiente di conduttività pari a 25 volte quello dell'aria***), per cui una tubazione rivestita con coibente inzuppato d'acqua presenta, generalmente, una cospicua condensazione sulla sua superficie esterna per difetto di coibenza.

Le barriere di vapore sono generalmente realizzate avvolgendo i rivestimenti coibenti con tela mussola incorporata in materiali a base bituminosa.

La figura 33.21 riporta lo schema di uno dei vari tipi di rivestimento adottati per la coibentazione dei **"tubi caldi"**. La figura 33.21b illustra invece, un tipo di rivestimento antistillicidio.

Oltre alle tubazioni, sono sovente rivestiti anche gli accessori, quali valvole e saracinesche.

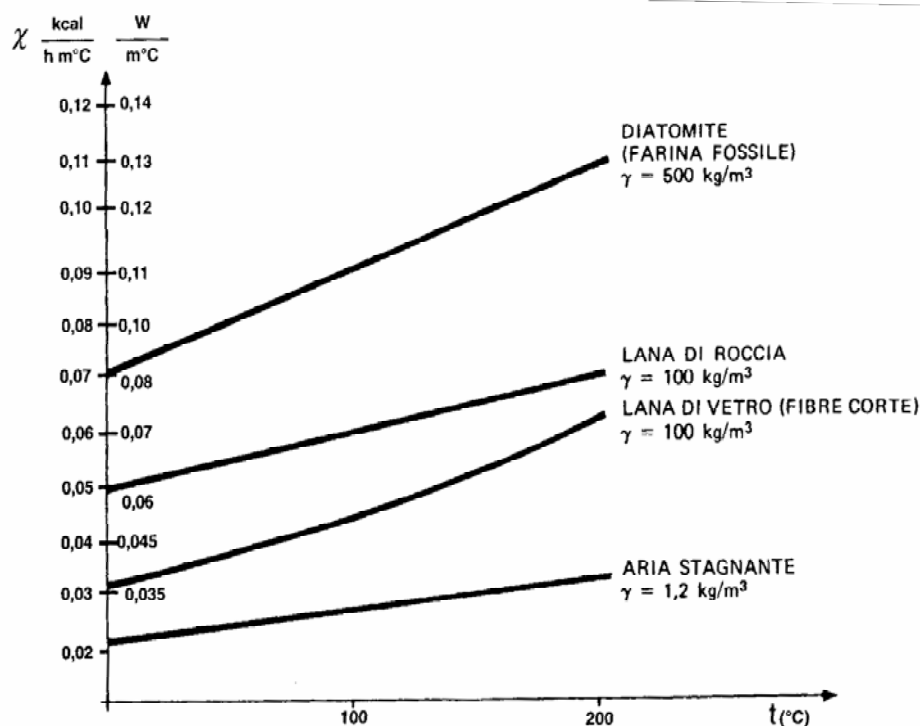


Fig. 33.20 – Conduttività termica, in funzione della temperatura, di alcuni isolanti impiegati per il rivestimento delle tubazioni.

Montaggio e protezione delle tubazioni

33.6 SCELTA DEI RIVESTIMENTI DELLE TUBAZIONI

Soffermiamoci ora brevemente sui criteri tecnico - economici che presiedono alla scelta dei rivestimenti coibenti.

A tale fine, richiamiamo alcune nozioni di fisica applicata.

La figura 33.22 schematizza una tubazione convogliante un *fluido caldo* e dotata di rivestimento isolante.

Siano:

r_i, r_e = raggi interno ed esterno dell'involucro (m);

t_i = temperatura del fluido all'interno del tubo ($^{\circ}\text{C}$);

t_e = temperatura sulla superficie esterna del rivestimento isolante ($^{\circ}\text{C}$);

t_a = temperatura dell'aria ambiente ($^{\circ}\text{C}$);

L = lunghezza dell'involucro (L);

χ = *coefficiente di conduttività* dell'involucro ($\text{Kcal/h m } ^{\circ}\text{C}$ oppure $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$);

h_i, h_e = *coefficiente di adduzione* delle superfici i ed e ($\text{Kcal/h m}^2^{\circ}\text{C}$ oppure $\text{W/m}^2^{\circ}\text{C}$); il coefficiente h è costituito di due termini: $h = f + r$, con

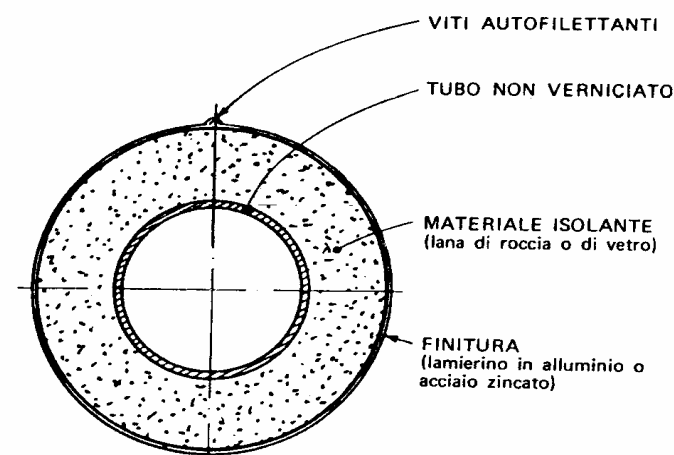
f = coefficiente di convezione liminare⁶;

r = coefficiente di irraggiamento⁷.

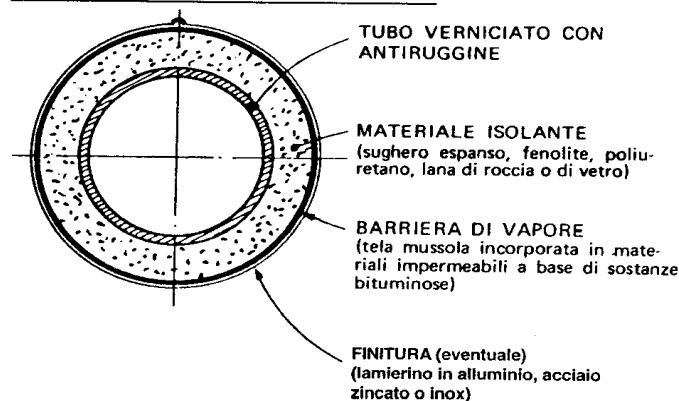
È lecito supporre t_i, t_e , e t_a costanti.

Inoltre, in prima approssimazione, consideriamo $t_e = t_a$ ⁸, ed identifichiamo con t_i anche la temperatura della superficie interna del rivestimento isolante.

a) TUBAZIONE CON FLUIDO CALDO ($> t$ AMBIENTE)



b) TUBAZIONE CON FLUIDO FREDDO ($< t$ AMBIENTE)



N.B. Nel caso di fissaggio con viti autofilettanti, è opportuno avvolgere la barriera di vapore con un materassino di lana di roccia o di vetro (spessore 10 mm), al fine di evitare la foratura della barriera da parte delle viti.

Fig. 33.21 – Rivestimenti per tubi contenenti fluidi e aventi la funzione di impedire: a) la dispersione di calore; b) lo stillicidio.

⁶ Tale coefficiente dipende dalla natura del fluido, dalla sua velocità, dal grado di ruvidezza della superficie, dalla temperatura media, ecc.

⁷ Il termine r , dovuto all'irraggiamento, assume importanza soltanto per temperature di parete molto elevate ($> 100^{\circ}\text{C}$).

⁸ La cosa è lecita a fare quando le tubazioni sono installate in posizione aerea e l'atmosfera è praticamente calma. In presenza di correnti di aria fredda occorre, invece, tenere conto della differenza fra la temperatura superficiale del materiale coibente e quello dell'aria.

Montaggio e protezione delle tubazioni

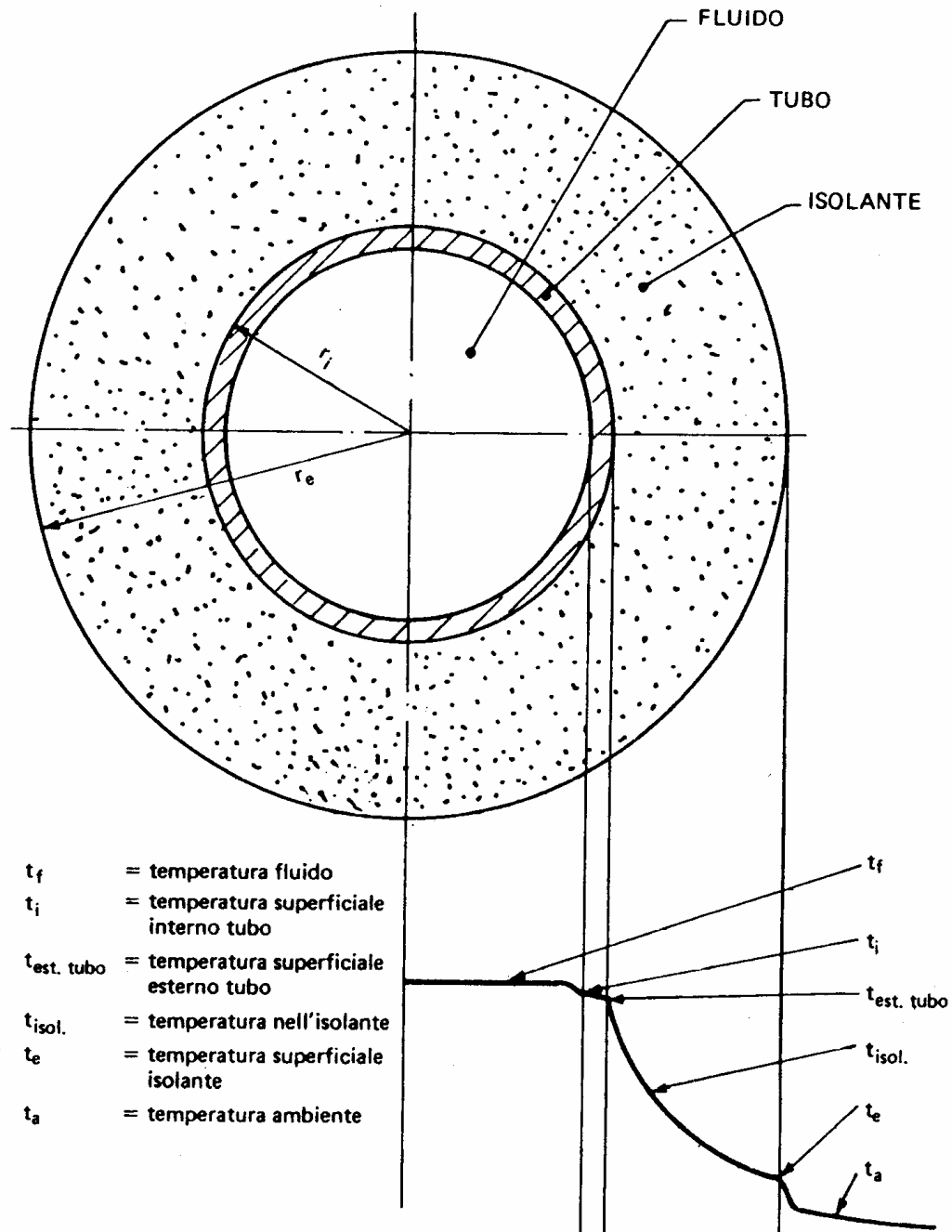


Fig. 33.22 – Sezione schematica di un tubo contenente un fluido caldo, esternamente rivestito con materiale isolante, e andamento delle temperature attraverso i vari materiali.

La quantità di calore che, nell'unità di tempo, passa dall'interno del tubo all'esterno è data dalla:

$$(33.2) \quad Q = \frac{t_i - t_a}{R} * L \quad (\text{kcal/h} \quad \text{o} \quad \text{W})$$

dove R è la resistenza totale espressa dalla:

Montaggio e protezione delle tubazioni

$$(33.3) \quad R = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{h_i * r_i} + \frac{1}{\chi} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_e * r_e} \right) \quad \left[\frac{h \, m^{\circ}C}{kcal} \right] \quad opp \left[\frac{m^{\circ}C}{W} \right]$$

$$(33.4) \quad Q = \frac{2\pi(t_i - t_a) * L}{\frac{1}{\chi} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_e * r_e}} \quad (kcal/h \quad opp \quad W)$$

Se si vuole riferire la potenza termica Q alla superficie longitudinale della condotta, per esempio a quella esterna $S_e = 2\pi r_e L$ (m²), l'espressione (33.2) diviene:

$$(33.2') \quad Q' = \frac{t_i - t_a}{R} * S_e \quad (kcal/h \quad o \quad W)$$

con

$$(33.3') \quad R' = \left(\frac{r_e}{h_i * r_i} + \frac{r_e}{\chi} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_e} \right) \quad \left[\frac{hm^2^{\circ}C}{kcal} \right] \quad opp \left[\frac{m^2^{\circ}C}{W} \right]$$

A sua volta, la (33.4) diventa, trascurando h_i :

$$(33.4') \quad Q' = \frac{S_e(t_i - t_a) * L}{\frac{r_e}{\chi} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_e}} \quad (kcal/h \quad opp \quad W)$$

Montaggio e protezione delle tubazioni

a) Rivestimenti coibenti antigelo

Esaminiamo anzitutto il caso della protezione delle tubazioni poste in ambienti a temperature inferiori a 0°C e convoglianti fluidi che non devono gelare (ad esempio acqua).

Consideriamo un tratto di tubo di lunghezza infinitesima dl , la quantità dQ trasmessa all'esterno vale, per la (33.2):

$$(33.5) \quad dQ = \frac{t_i - t_a}{R} dl$$

dove:

$$R = \frac{1}{2\pi\chi} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{2\pi r_e h_e}$$

Tale quantità di calore dQ deve essere uguale alla quantità di calore persa dal fluido percorrente il tubo:

$$(33.6) \quad dQ = - G c_p dt_i$$

dove:

G = portata del fluido (kg/h);

c_p = calore specifico del fluido (kcal/kg °C opp kJ/kg °C): per l'acqua $c_p = 1$ kcal/kg °C;

dt_i = raffreddamento del fluido nel tratto dl .

Poiché t_a = costante:

$$(33.7) \quad dQ = - G c_p d(t_i - t_a)$$

eguagliando la (33.5) con la (33.7), si ricava:

$$(33.8) \quad \frac{t_i - t_a}{R} dl = G c_p d(t_i - t_a)$$

ovvero:

$$(33.8 \text{ bis}) \quad \frac{1}{GR} dl = -c_p \frac{d(t_i - t_a)}{t_i - t_a}$$

Montaggio e protezione delle tubazioni

Integrando lungo un tratto di condotta di lunghezza L e semplificando, si perviene alla:

$$(33.9) \quad \frac{L}{c_p * G * R} = \ln \frac{t'_i - t_a}{t_i - t_a} \quad \text{ovvero} \quad \frac{S_e}{c_p * G * R'} = \ln \frac{t'_i - t_a}{t_i - t_a}$$

(33.9 bis)

dove:

t'_i = temperatura di entrata dell'acqua nel tratto di tubo considerato;

t_i = temperatura di uscita dell'acqua nel tratto di tubo considerato;

L = lunghezza della condotta (m);

S_e = superficie esterna del rivestimento coibente (m^2);

R = resistenza totale del coibente in $\left[\frac{hm^\circ C}{kcal} \right]$ R' in $\left[\frac{m^2 \circ C}{W} \right]$

Con la (33.9) o con la (33.9 bis) è possibile risolvere i seguenti problemi:

- a) determinare t_i , cioè la temperatura minima che il fluido convogliato può raggiungere, noti L , R , t_a , t'_i , e t_i .
- b) ricavare R e quindi lo spessore di isolante occorrente, noti L , G , t_a , t'_i , e t_i ;
- c) valutare la portata minima G che è necessario far passare nella tubazione perché l'acqua non geli, essendo noti L , R , t_a , t'_i , e t_i .
è ovvio che se l'acqua è ferma nelle tubazioni il pericolo di gelo è più grave (questo è, ad esempio, il caso delle reti di acqua antincendio o delle reti di acqua industriale e potabile, il cui flusso si interrompa per un tempo piuttosto lungo). In tali casi le tubazioni andrebbero interrato. Questa soluzione è sempre consigliabile per le tubazioni dell'acqua che passano all'esterno dei fabbricati o in locali non riscaldati.

Montaggio e protezione delle tubazioni

b) Rivestimenti coibenti propriamente detti

Consideriamo ora il caso in cui si debbano limitare gli *scambi di calore* fra un fluido a temperatura diversa da quella ambiente e l'ambiente stesso.

Ovviamente lo spessore dell'isolante deve essere tale che la somma dei costi annui per il calore disperso e quello per l'apposizione del rivestimento risulti minima (trascurando altri costi, quali quelli di manutenzione, per semplicità).

Il costo del calore disperso vale:

$$(33.10) \quad C_{Q_{\text{Year}}} = Q n c \quad (\text{€/anno})$$

dove:

Q = calore disperso attraverso un tratto lungo L di isolante (kcal/h opp W);

n = numero di ore annue di funzionamento (h/year);

c = costo unitario del calore disperso (€/kcal opp. €/Wh).

Nella (33.10), la quantità di calore Q che attraversa lo spessore dell'isolante, in direzione radiale, è data dall'espressione (33.4).

Quest'ultima espressione, se si trascura l'adduzione esterna di calore (cosa che è lecito fare quando le tubazioni sono installate in atmosfera praticamente calma), essenzialmente dovuta, nei casi in esame alla propagazione laminare, si semplifica nella

$$(33.4 \text{ bis}) \quad Q = \frac{2\pi\chi(t_i - t_a)L}{\ln \frac{r_e}{r_i}}$$

Il costo in opera dell'isolante può essere determinato con la

$$(33.11) \quad C'_i = \pi(r_e^2 - r_i^2)Lc_i \frac{1}{a_n} \quad (\text{€/anno})$$

dove:

r_e = raggio esterno del rivestimento (m);

r_i = raggio interno del rivestimento (m);

L = lunghezza della tubazione in (m);

c_i = costo unitario del rivestimento in opera (€/m³);

$1/a_n$ = termine unitario di ammortamento, in n anni, al tasso di interesse i .

Al valore C'_i ottenuto dalla (33.11) si deve aggiungere il costo (€/anno) del rivestimento esterno in lamiera:

Montaggio e protezione delle tubazioni

$$(33.12) \quad C_i'' = 2\pi r_e^2 L c_r \frac{1}{a_n^-}$$

dove oltre ai termini noti,

c_r misura il costo unitario del rivestimento in opera (€/m²).

In totale, quindi, il costo corrispondente al rivestimento vale:

$$(33.13) \quad C_i = C_i' + C_i''$$

Si tratta di trovare il valore di r_e e quindi dell'isolante $r_e - r_i$ (fig. 33.22), che rende minima la somma

$$(33.14) \quad C_{Tot} = C_{QYear} + C_i$$

Da un punto di vista teorico, si potrebbe determinare il valore di r_e che rende minimo il costo dell'espressione (33.14) annullando la derivata prima di C (la funzione C ha sempre solo un minimo).

In pratica, però, la funzione C_Q dipende da molti elementi non esprimibili in funzione del parametro r_e .

Tali elementi sono:

- l'ammortamento degli impianti;
- il costo del combustibile consumato;
- il costo della manodopera per la conduzione degli impianti generatori – distributori;
- il costo dell'energia elettrica consumata per il funzionamento degli impianti;
- il costo dell'acqua trattata, necessaria per il funzionamento degli impianti; il costo per la manutenzione degli impianti.

Il valore di r_e che rende minima la funzione C_{Tot} può essere determinato per via grafica.

Montaggio e protezione delle tubazioni

A tal fine, si costruiscono per punti, su un diagramma cartesiano avente per ascisse i valori crescenti di r_e , e per ordinate i valori crescenti dei costi unitari, le curve C_Q , C_i , e $C_{Tot} = C_Q + C_i$; il valore di r_e , relativo al minimo della curva C_{Tot} , corrisponde allo spessore più economico del rivestimento coibente considerato (figura 33.23).

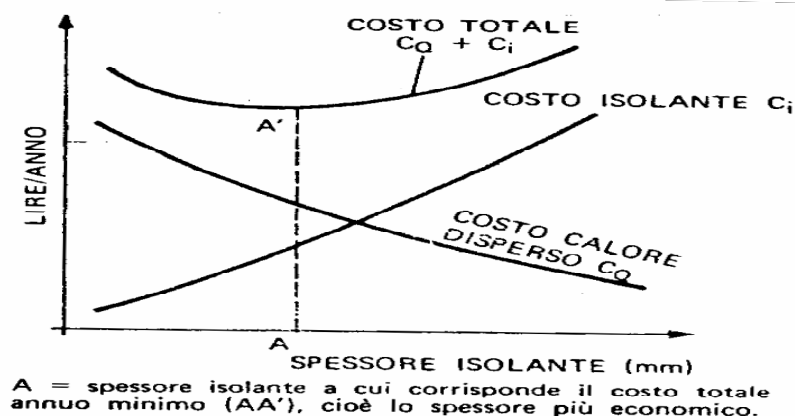


Fig. 33.23 – Determinazione grafica del valore ottimale per l'isolante di r_e .

c) Rivestimenti antistillicidio

Come già detto, scopo dei rivestimenti antistillicidio è quello di evitare la condensazione del vapore acqueo atmosferico sulle superfici esterne delle tubazioni.

Tale condensazione si evita aumentando, con l'isolamento termico, la temperatura superficiale delle superfici esterne a contatto con l'aria atmosferica.

Apriamo una breve parentesi per richiamare alcune nozioni sull'*aria umida*.

L'aria atmosferica limpida (cioè senza nebbia) è una miscela di aria secca e di vapore d'acqua.

Tale miscela è detta dell'*aria umida*.

Le proprietà dell'aria umida sono riassunte in un *diagramma di Mollier per l'aria umida*, riportato in figura 33.24:

- la versione a) del diagramma è in unità internazionali, mentre
- la versione b) è in unità tecniche.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Tale diagramma è riferito alla pressione normale di **101.325 Pa** ed a una miscela contenente **1 kg di aria secca**.

Il diagramma permette di risolvere graficamente e speditamente tutti i problemi relativi all'aria umida.

Il vapore contenuto nell'aria umida è generalmente surriscaldato, cioè ha una pressione parziale inferiore a quella del vapore saturo avente la stessa temperatura.

Aggiungendo vapore nell'aria umida, la pressione parziale del vapore stesso aumenta fino a raggiungere la pressione corrispondente a quella del vapore saturo: a questo punto l'aria umida è satura di vapore, cioè non è più in grado di ricevere altro vapore oltre a quello che già contiene.

Ulteriori dosi di umidità rimangono nell'aria sotto forma di nebbia, **cioè in fase diversa da quella dell'aria**.

Un altro modo per rendere satura l'aria umida è quello basato sul suo raffreddamento.

Raffreddando dell'aria umida fuori dal contatto di sorgenti di vapore, la pressione parziale del vapore rimane costante, ma diminuisce la sua temperatura.

Il vapore si raffredda fino a raggiungere la temperatura di vapore saturo corrispondente alla sua pressione: a questo punto l'aria umida è satura.

La temperatura alla quale l'aria umida diventa satura è detta **temperatura di rugiada** o **punto di rugiada**.

Raffreddando ulteriormente l'aria al di sotto della temperatura di rugiada, si ottiene condensazione del vapore.

Montaggio e protezione delle tubazioni

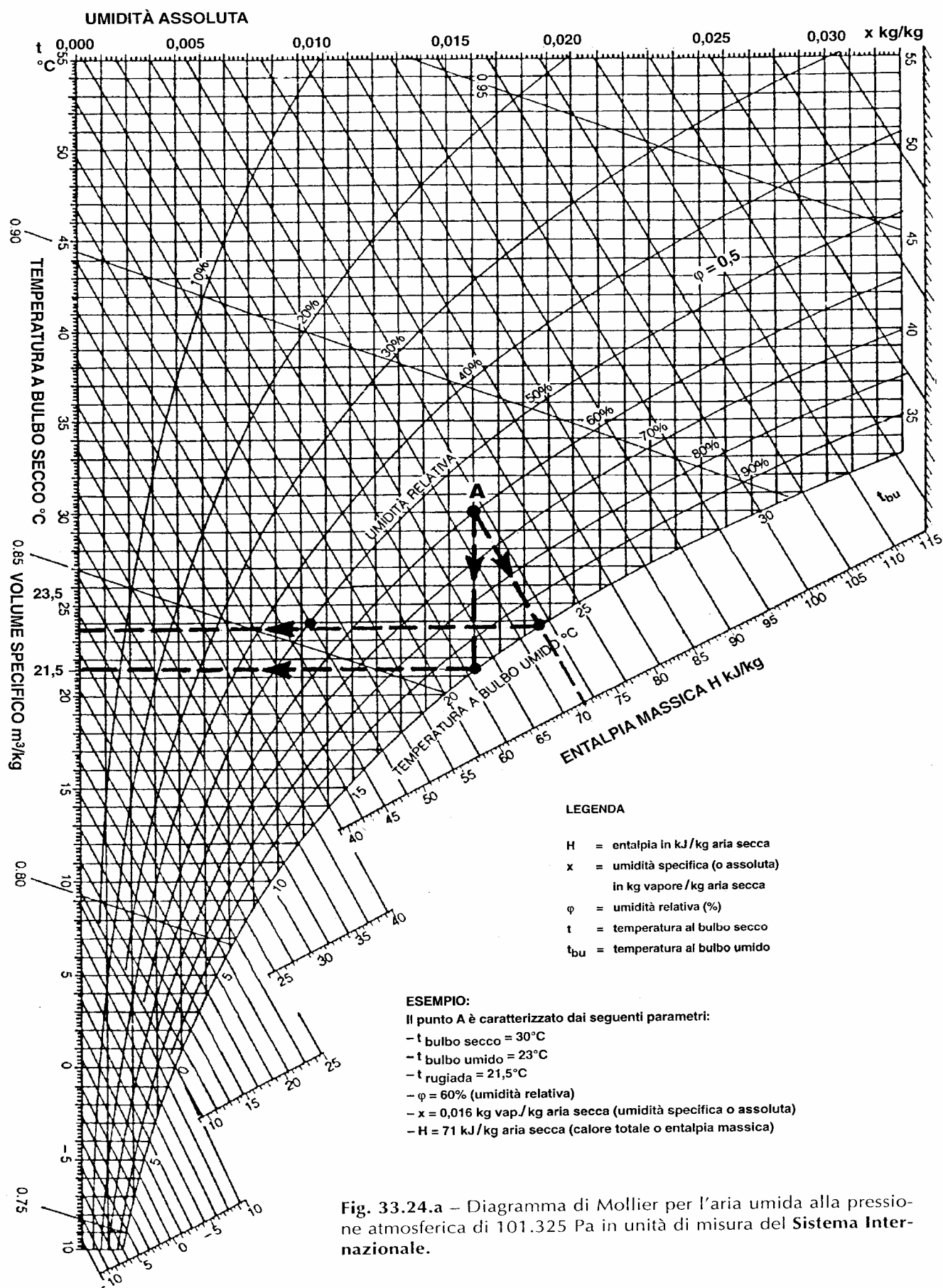


Fig. 33.24.a – Diagramma di Mollier per l'aria umida alla pressione atmosferica di 101.325 Pa in unità di misura del Sistema Internazionale.

Montaggio e protezione delle tubazioni

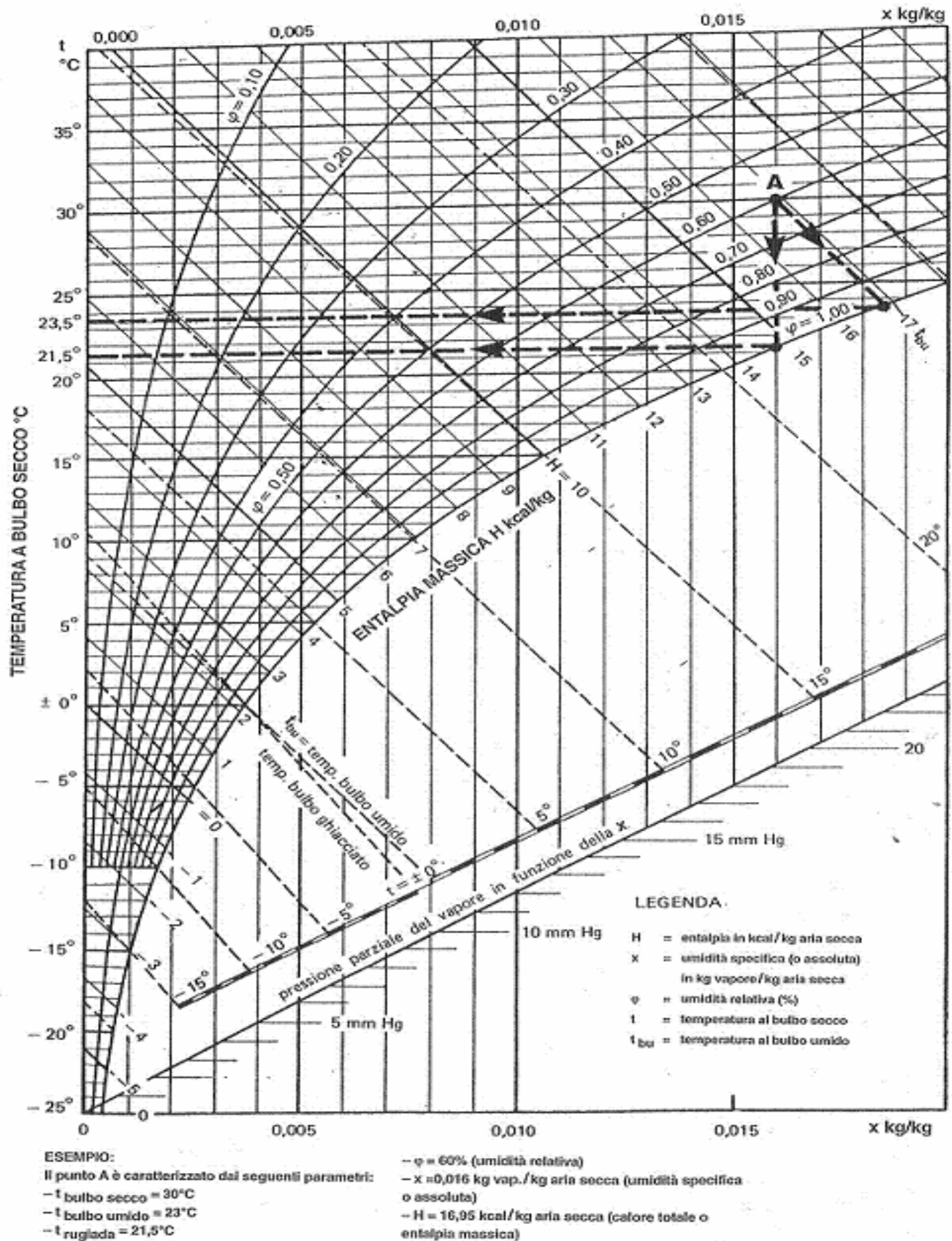


Fig. 33.24.b – Diagramma di Mollier per l'aria umida alla pressione atmosferica di 1 bar in unità di misura del Sistema Tecnico.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Le grandezze fondamentali relative all'aria umida sono le seguenti (riferite a 1 kg di aria secca):

- a) **temperatura al bulbo secco t** : temperatura segnata da un termometro normale posto nell'aria atmosferica;
- b) **temperatura al bulbo umido t_{bu}** : temperatura segnata da un termometro, con bulbo avvolto in una garza umida, posto nell'aria atmosferica;
- c) **temperatura di rugiada t_{rug}** : temperatura già definita;
- d) **umidità specifica o assoluta x** : quantità di vapore, misurata in grammi o in chilogrammi, contenuta in 1 kg di aria secca (kg vapore/kg aria secca oppure g vapore/kg aria secca);
- e) **umidità relativa ϕ** : rapporto, espresso in percentuale, tra l'umidità specifica effettiva dell'aria umida considerata e l'umidità specifica che l'aria umida avrebbe se fosse satura;
- f) **entalpia o calore totale J** : è la somma, espressa in kcal/kg di aria secca, dei sotto indicati addendi:

ARIA

- 1) calore necessario per portare 1 kg di aria secca da 0°C e 760 mm Hg alla temperatura dell'aria umida t : $0,24 \cdot t$ (0,24 kcal/°C kg aria secca è il calore specifico dell'aria),
oppure: $1 \text{ kJ } t$ (1 kJ/°C kg aria secca è il calore specifico dell'aria);

ACQUA/VAPORE

- 2) calore necessario per vaporizzare l'umidità assoluta x contenuta nell'aria umida supposta a 0°C: $595 \cdot x$ (595 kcal/kg vapore è il calore di vaporizzazione),
oppure $2500 \cdot x$ (2500 kJ/kg vapore è il calore di vaporizzazione);
- 3) calore necessario per surriscaldare l'umidità x da 0 °C alla temperatura dell'aria umida t : $0,46 \cdot t \cdot x$ (0,46 kcal/°C*kg vapore è il calore specifico dei vapore surriscaldato),
oppure: $1,9 \cdot t \cdot x$ (1,9 kJ/°C*kg vapore è il calore specifico dei vapore surriscaldato);

Vale a dire: $H = (0,24 \cdot t + 595 \cdot x + 0,46 \cdot t \cdot x) \text{ kcal/kg aria secca, (ST)}$

oppure

$H = (1 \cdot t + 2500 \cdot x + 1,9 \cdot t \cdot x) \text{ kJ/kg aria secca; (SI)}$

Montaggio e protezione delle tubazioni

g) *volume specifico* v : è il volume dell'aria umida contenente 1 kg di aria secca e x kg di vapore.

Sul diagramma di Mollier di fig. 33.24, le rette orizzontali collegano punti di temperatura costante, mentre le rette verticali passano per punti di umidità assoluta x costante; le rette oblique uniscono punti a entalpia J costante; le curve sono caratterizzate da umidità relativa (p costante).

Applichiamo ora al caso che qui ci interessa le nozioni sopra ricordate ed in particolare il principio che mettendo a contatto l'aria umida (supposta costante la pressione atmosferica), a temperatura minore dell'aria, la miscela aria – vapore si raffredda.

Al diminuire della temperatura della miscela, l'umidità assoluta rimane costante, mentre l'umidità relativa (misurata in %) aumenta.

L'umidità assoluta rimane costante fintanto che l'umidità relativa è minore del 100% (figura 33.24).

Continuando l'abbassamento di temperatura, l'umidità relativa raggiunge il 100% (punto di rugiada):

in tale condizione, basta un ulteriore anche piccolo abbassamento di temperatura per provocare la condensazione del vapore, con conseguente diminuzione dell'umidità assoluta.

Tale fenomeno può avvenire sulla superficie di un tubo nudo (cioè non isolato termicamente) allorché sia percorso da un fluido a temperatura minore del punto di rugiada dell'aria atmosferica che circonda il tubo.

Quando la temperatura del fluido è inferiore a 0 °C, l'eventuale rugiada formatasi si trasforma in brina.

Riportiamo in tabella 33.II, arrotondati al mezzo grado, i valori dei punti di rugiada di alcuni tipi di aria atmosferica.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Tabella 33.II – punti di rugiada di alcuni tipi di aria alla pressione atmosferica di 10^5 Pa.

Condizioni termo-igrometriche della miscela aria + vapore		Punto di rugiada °C
Temperatura °C	Umidità relativa %	
0	60	-6
0	75	-3.5
0	90	1.5
10	60	3
10	75	6
10	90	8.5
20	60	12
20	75	15.5
20	90	18.5
25	60	16.5
25	75	20
25	90	23.5
30	60	21.5
30	70	24
30	80	26
32	60	23.5
32	70	26
32	80	28.5
34	60	25
34	70	28
34	80	30.5

Come si può rilevare, il punto di rugiada sale:

- con l'aumentare della temperatura dell'aria, a parità di umidità relativa;
- con l'aumentare dell'umidità relativa, a parità di temperatura dell'aria.

Il punto di rugiada è, quindi, tanto più alto quanto più elevate sono la temperatura e l'umidità dell'aria, cioè in estate.

La formazione di rugiada sulla superficie esterna di una tubazione nuda percorsa da un fluido freddo può essere evitata solo, come già detto, isolando termicamente la tubazione, in modo da innalzare la temperatura superficiale della tubazione isolata al di sopra del punto di rugiada dell'aria atmosferica nella quale si trova la tubazione stessa.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Lo spessore del rivestimento coibente si calcola nel modo sottoindicato. Siano:

r_e : raggio esterno del rivestimento;

r_i : raggio interno del rivestimento, pari al raggio esterno del tubo (m);

L : lunghezza della tubazione (m);

χ , h_i , h_e , t_i , t_e , t_a le grandezze fisiche già definite in precedenza.

$$Q = \frac{2\pi(t_a - t_i)}{\frac{1}{h_i r_i} + \frac{1}{\chi} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_e r_e}} * L \quad (\text{kcal/h})$$

Nel caso di acqua fluente nella tubazione, il termine $1/h_i r_i$ è trascurabile.

Q è calcolabile mediante la:

$$Q = h_e 2\pi r_e l(t_a - t_e) \quad (\text{kcal/h})$$

il valore di h_e per tubi in aria tranquilla è con sufficiente approssimazione:

$$(33.17) \quad h_e = 8.2 + 0.0073 * t \sqrt[3]{t} \quad (\text{kcal/hm}^2\text{°C})$$

ovvero

$$(33.17 \text{ bis}) \quad h'_e = 9.5 + 0.0085 * t \sqrt[3]{t} \quad (W / m^2 \text{ °C})$$

dove la t è la temperatura superficiale esterna del tubo isolato.

Uguagliando le espressioni precedenti si ha:

$$(33.18) \quad \frac{(t_a - t_i)}{\frac{1}{\chi} \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{h_e r_e}} = h_e r_e (t_a - t_i)$$

Nella (33.18) le incognite sono t_e , r_e . Fissato t_e , che deve essere maggiore della temperatura di rugiada dell'aria circostante la tubazione, si ricava per tentativi r_e , e quindi lo spessore $s = r_e - r_i$, del rivestimento coibente, capace di garantire una temperatura superficiale sul rivestimento stesso maggiore del punto di rugiada.

Montaggio e protezione delle tubazioni

33.7 DILATAZIONI TERMICHE DELLE TUBAZIONI

Nel caso di trasporto di fluidi caldi, le tubazioni sono soggette a variazioni termiche che causano allungamenti e contrazioni delle tubazioni stesse:

tali dilatazioni dipendono dal coefficiente di dilatazione lineare del materiale che costituisce i tubi, dalla lunghezza dei tubi stessi e dal salto di temperatura.

Le tubazioni devono essere sottoposte a calcoli di verifica, al fine di stabilire se gli sforzi che si generano durante le dilatazioni possano deformare le tubazioni con pericolo di rottura, oppure determinare spinte inammissibili sugli impianti o utenze ai quali le tubazioni sono collegate.

Senza soffermarci sulle diverse procedure che consentono di calcolare le sollecitazioni indotte nelle tubazioni dalle dilatazioni termiche, ricordiamo soltanto che:

- la dilatazione termica di una tubazione rettilinea libera ad un estremo e lunga L è data dalla:

$$\Delta L = \alpha L \Delta t$$

dove α , coefficiente di dilatazione termica, dipende dalla natura del materiale; espresso in $^{\circ}\text{C}^{-1}$, normalmente funzione della temperatura, ma che, per i nostri scopi, può essere ritenuto costante. Per un acciaio di qualità $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

- lo sforzo di compressione a cui è sottoposta una tubazione rigidamente ancorata ai due estremi vale:

$$\sigma_c = \alpha \Delta t \quad E = \epsilon E = F/S$$

dove F è la forza esercitata dalla tubazione ed S è la sezione di quest'ultima. che per un acciaio di qualità vale circa $196 \cdot 10^3 \text{ MPa}$.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Il grafico di figura 33.25 consente di valutare la dilatazione unitaria di tubi costituiti da materiali metallici diversi.

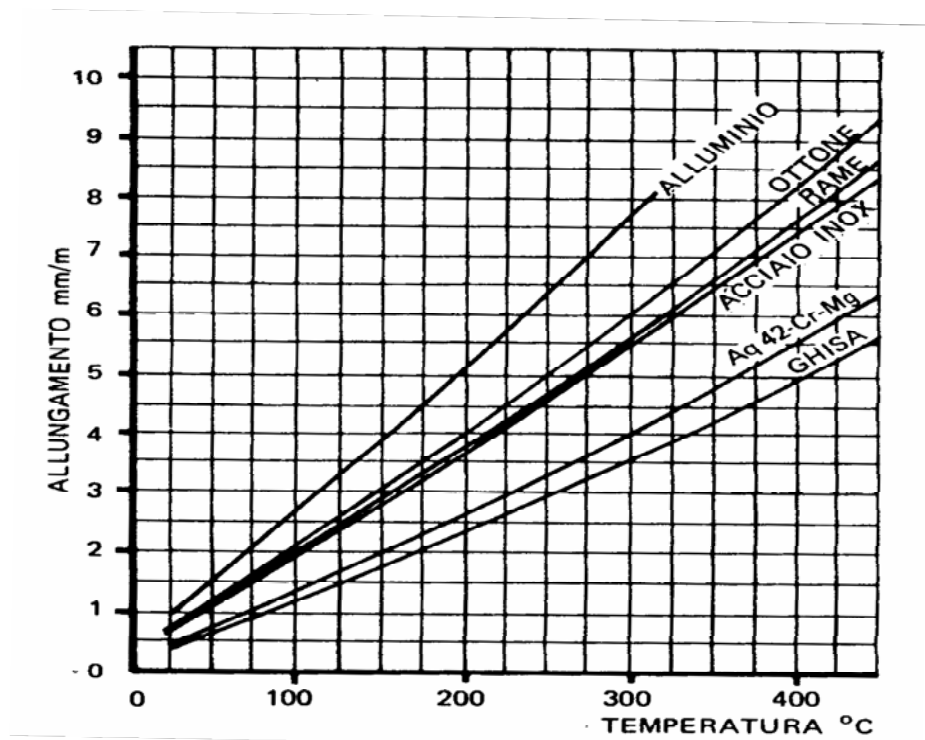


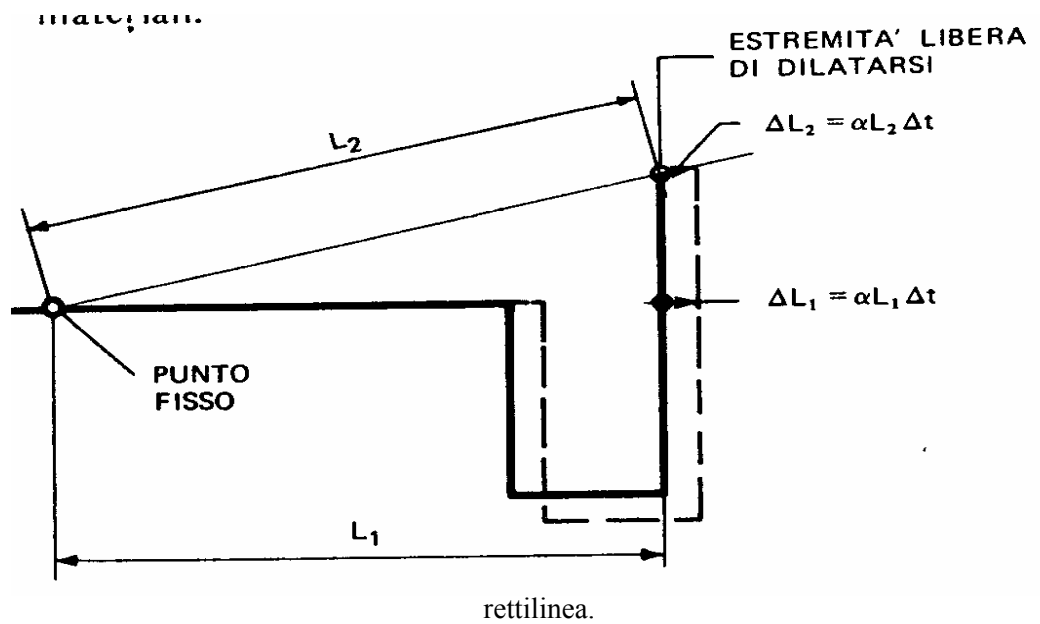
Fig. 33.25 – Coefficienti di dilatazione di alcuni materiali.

Lo spostamento dell'estremità di una tubazione non rettilinea, supposta fissa l'altra estremità (figura (33.26), si può valutare graficamente: tale spostamento sta infatti sulla congiungente i due punti di estremità della tubazione, e la sua entità è ancora data dalla

$$\Delta L = \alpha L \Delta t,$$

nella quale L misura la distanza in linea retta fra il punto fisso e l'estremità libera della tubazione.

Montaggio e protezione delle tubazioni



Allo spostamento dovuto alla dilatazione termica si devono sommare vettorialmente gli spostamenti dovuti a vibrazioni e sollecitazioni esterne.

In pratica, si installano appositi **compensatori** (figura 33.27) aventi la funzione di assorbire le dilatazioni delle tubazioni, determinate da variazioni di temperatura dovute o al fluido trasportato e/o all'ambiente in cui sono apposte.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Fra i vari tipi di compensatori adottati in pratica, citiamo i seguenti:

- **Compensatori ad omega** o a **lira** (figura 33.27): assorbono le dilatazioni assiali di tubazioni rettilinee. Possono essere installati su tubazioni di diametro piccolo e grande, e con pressioni interne alte. Non richiedono manutenzione, ma presentano ingombri maggiori rispetto ad altri compensatori di seguito indicati e provocano perdite di carico non trascurabili.

L'ingombro dei compensatori ad omega può essere valutato con l'espressione empirica:

$$h = k \sqrt{f D}$$

dove:

h = ingombro trasversale del compensatore;

k = costante;

f = freccia di deformazione assiale che può assorbire il compensatore;

D = diametro del tubo.

- **Compensatori assiali a soffiutto** (figura 33.28): sono costituiti da tronchi di tubo d'acciaio legato (od inossidabile), aventi le pareti ondulate. La loro denominazione è dovuta alla modalità di funzionamento: essi sono in grado di assorbire esclusivamente le dilatazioni che avvengono lungo il loro asse longitudinale.

Anche questi compensatori devono essere installati lungo i tratti rettilinei delle tubazioni, fra due punti fissi e con guide in corrispondenza degli attacchi, per impedire gli spostamenti non assiali (trasversali). I compensatori a soffiutto non richiedono manutenzione ed hanno ingombri e perdite di carico limitate. Le estremità sono a flangia o lisce (cioè da saldare).

- **Compensatori a snodo a soffiutto** (Figura 33.29): sono costituiti, come gli assiali, da tronchi di tubo in acciaio legato (od inox) a pareti ondulate.

Il loro funzionamento è però diverso da quelli assiali.

Infatti, mentre i compensatori assiali sono in grado di deformarsi esclusivamente lungo l'asse longitudinale, i compensatori a snodo si deformano **solo** trasversalmente al loro asse longitudinale.

Conseguentemente, essi sono **installati a 90° rispetto ai tratti rettilinei delle tubazioni** interessate.

Tali deformazioni trasversali avvengono grazie alla presenza di leve a snodo, che impediscono le deformazioni assiali.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Gli angoli di rotazione delle leve a snodo variano in base al numero delle onde dei soffietti compensatori.

Le spinte indotte sugli eventuali punti fissi sono trascurabili.

I compensatori ad omega, assiali ed a snodo sono generalmente montati con pretensione (o pre deformati) per sfruttare al meglio le loro prestazioni. Pertanto, ogni compensatore deve essere istallato con una deformazione contraria a quella che dovrà subire durante la dilatazione. Per esempio, se la dilatazione totale da assorbire è uguale a D , il compensatore deve essere montato con una predeformazione pari a $D/2$.

Montaggio e protezione delle tubazioni

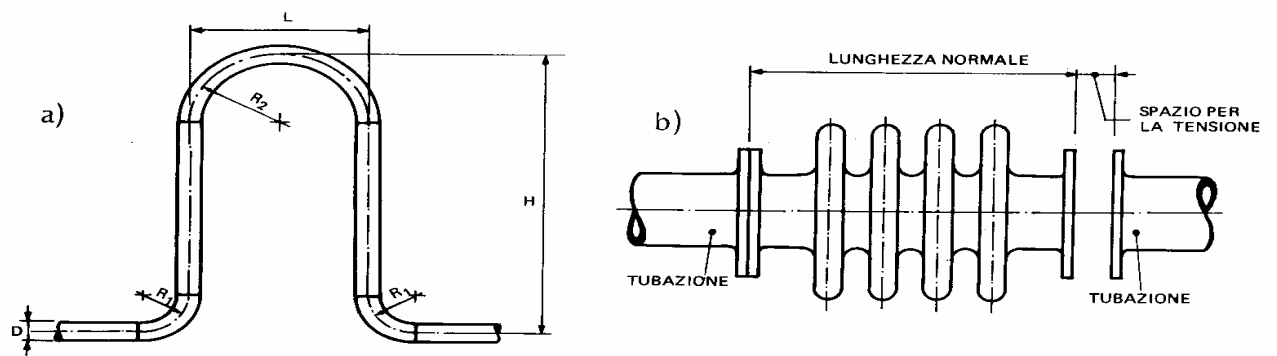


Fig. 33.27 — Schemi di compensatori.

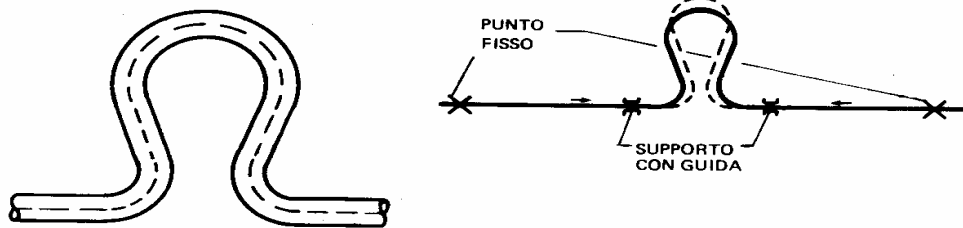


Fig. 33.28 — Compensatore a omega o a lira.

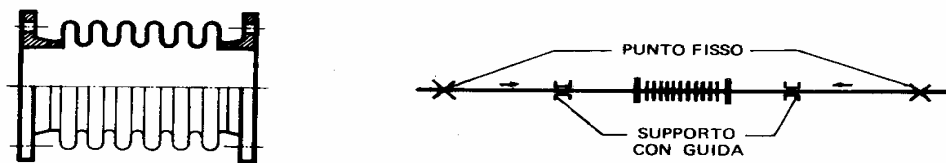


Fig. 33.29 — Compensatore assiale a soffietto.

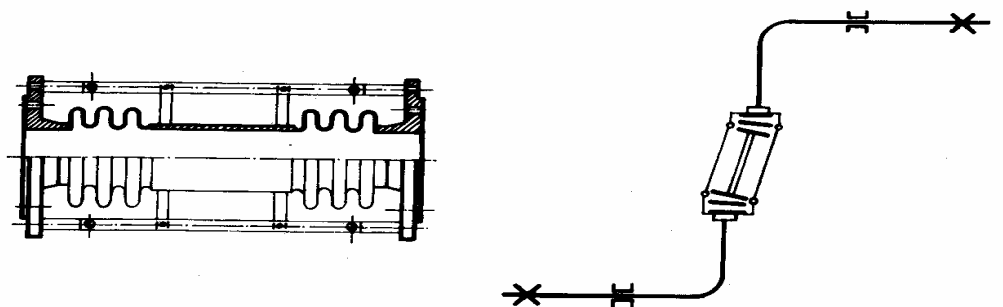


Fig. 33.30 — Compensatore a snodo.

Montaggio e protezione delle tubazioni

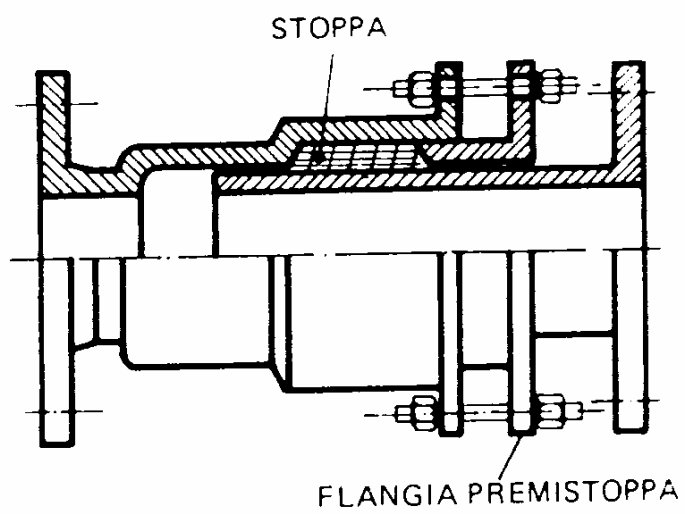


Fig. 33.26 – Compensatore a cannocchiale.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Posa in opera delle tubazioni

Le tubazioni, preposte a convogliare fluidi fra diverse apparecchiature fisse, comunque distribuite tra interno ed esterno di un fabbricato industriale, necessitano di supporti per sostenere il peso proprio delle tubazioni, oltre al peso del fluido in esse trasportato, ovvero a contrastare le spinte dovute all'azione del fluido. Il posizionamento dei sostegni viene determinato in base alla resistenza del tubo a flessione o per limitare la sua freccia massima. Nel caso di limitazione della freccia, si passa dai pochi *mm* per DN piccoli a valori fino ad 1 *cm* per DN di grandi dimensioni (oltre 100).

Per una condotta rettilinea collegata rigidamente alle estremità ad apparecchiature fisse, il comportamento è quello di una trave semincastrata agli estremi A e B (fig. 1.6.1).

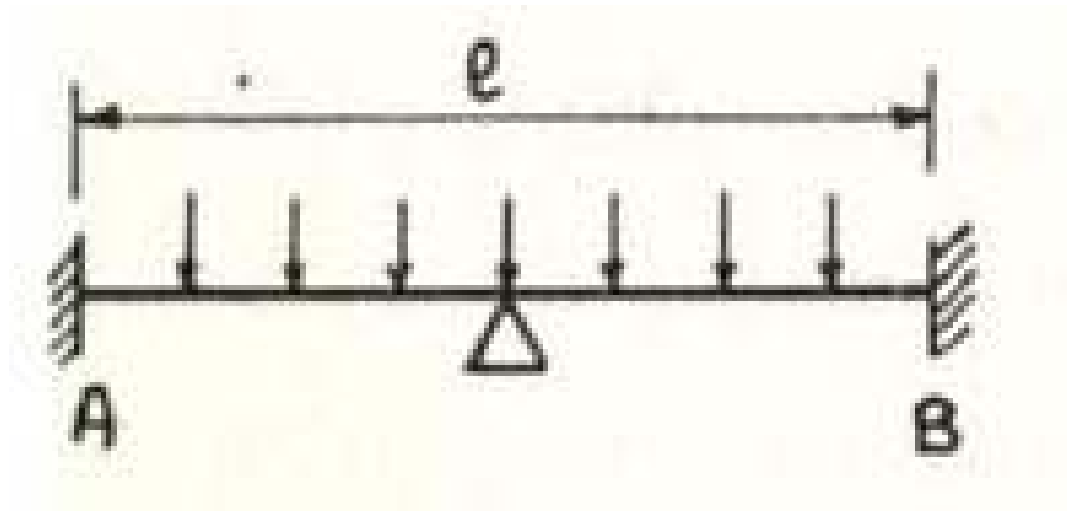


Fig. 1.6.1 – Schematizzazione di un collegamento tra due apparecchiature.

Sia q il carico per unità di lunghezza, dovuto al peso della tubazione e del fluido, ed l la lunghezza della trave, si ottiene un momento flettente pari a:

$$M_f = \frac{q \cdot l^2}{10}$$

che porta ad una tensione nei punti A e B:

$$\sigma = \frac{M_f}{W}$$

dove W rappresenta il **modulo di elasticità** del tubo pari al rapporto tra il momento d'inerzia, rispetto all'asse neutro che passa dall'asse del tubo, e la distanza delle fibre maggiormente tese dall'**asse neutro**, distanza che equivale al raggio esterno.

$$W = \frac{J}{y} ; \quad y = \frac{D_e}{2}$$

Il valore di tensione calcolato deve esser confrontato con la **tensione ammissibile**. Qualora la tensione ammissibile venisse superata, occorrerà intervenire inserendo supporti intermedi. I punti di

Montaggio e protezione delle tubazioni

una tubazione dove risulta necessario verificare il non superamento delle tensioni ammissibili sono tutti i collegamenti con flange, tipici degli allacciamenti delle tubazioni alle apparecchiature.

Nel caso di curve o di innesto di una tubazione in un altro tratto di tubazione, può sussistere la necessità di contrastare l'azione di spinta del fluido che, in questi casi, determina un carico concentrato:

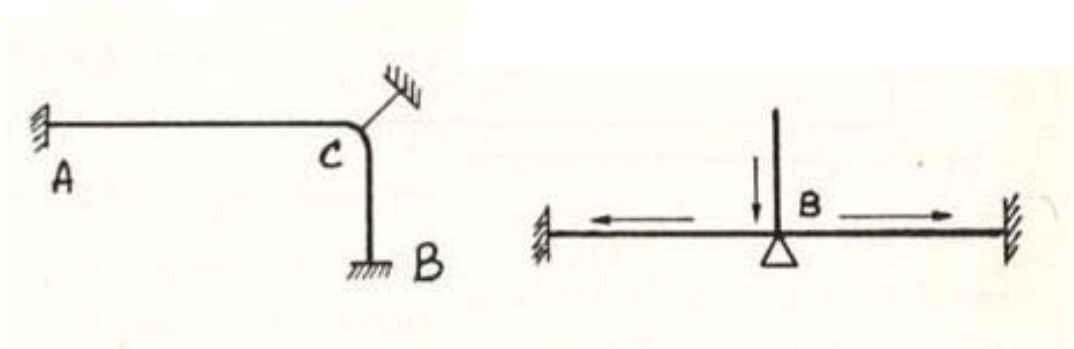


Fig. 1.6.2 – esempi di installazioni che determinano azioni concentrate da parte del fluido circolante.

Nel primo caso, se il fluido circola da A fino a B, il tratto BC è caricato come una trave a sbalzo, mentre, nel secondo caso, ai carichi distribuiti si sovrappone un carico concentrato in B, dovuto all'azione del fluido.

1.1 Dilatazioni termiche

Per effetto delle variazioni di temperatura tra impianto fermo ed in marcia, si possono avere delle significative dilatazioni termiche, che inducono tensioni principalmente localizzate sugli attacchi delle tubazioni alle apparecchiature.

La variazione di temperatura ΔT cui può essere sottoposta una tubazione di lunghezza L , comporta un allungamento, se la tubazione fosse lasciata libera di allungarsi, pari a:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

dove α è il coefficiente di dilatazione lineare, espresso in $^{\circ}\text{C}^{-1}$, normalmente funzione della temperatura, ma che, per i nostri scopi, può essere ritenuto costante. Per un acciaio di qualità $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

In una tubazione rettilinea di diametro contenuto, tale allungamento può comportare una flessione (carico di punta) in grado di sollecitare pericolosamente le flange di collegamento della tubazione alle apparecchiature. All'aumentare del diametro delle tubazioni, per la minore flessibilità del tubo, si possono manifestare elevati sforzi assiali:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

con ε l'allungamento specifico che vale $\Delta L/L$ ovvero $\alpha \cdot \Delta T$,

E il modulo di elasticità, che per un acciaio di qualità vale circa **196·103 MPa**.

Un aumento di temperatura di 100 $^{\circ}\text{C}$, comporta, in una tubazione di acciaio di qualità, l'innescarsi di una tensione pari a **235,2 MPa**.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Se si considera che, per un tale materiale, si ha un *carico di rottura* pari a **637 MPa**, la *tensione ammissibile* risulta **212,3 MPa**, inferiore alla tensione che si innesci per effetto dell'aumento di temperatura.

Occorre, quindi, intervenire per ridurre le tensioni innescate pur garantendo la dilatazione della tubazione. Per avere un'idea del valore della tensione sopra calcolata, si può determinare il peso di un blocco di calcestruzzo che impedisca la dilatazione. La forza che agisce sul blocco per opera del tubo che si dilata è data da:

$$F = \sigma \cdot \Omega$$

dove Ω è la sezione alla quale viene applicata la spinta da parte del tubo che si dilata. Se i diametri interno ed esterno del tubo valgono 100 e 108 mm, l'impedimento dello spostamento genera la forza di seguito calcolata:

$$\Omega = \pi \cdot (r_e^2 - r_i^2) = 1,306 \cdot 10^{-3} [m^2]$$
$$F = 235,44 \cdot 10^6 \cdot 1,306 \cdot 10^{-3} = 307,54 [kN] \cong 30000 kg_f$$

Se il tratto in esame non fosse rettilineo, le deformazioni delle condotte potrebbero essere tali da non sollecitare in modo pericoloso i punti di collegamento con flange. Le sollecitazioni prevalenti, in questo caso, sono quelle di flessione come si desume dagli schemi sottorappresentati:

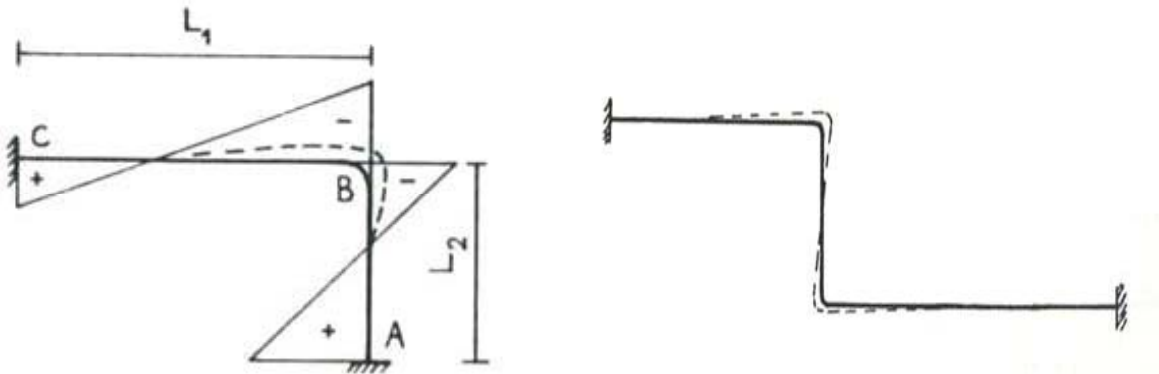


Fig. 1.7.1 – Effetto di modifiche di lay-out sulle tensioni innescate dalle dilatazioni termiche in una tubazione.

Nel primo caso il punto maggiormente sollecitato è A in quanto $L_2 < L_1$. La tensione σ_A aumenta con Δt e con il diametro della condotta. Per queste strutture, come anche per strutture maggiormente complesse, che di norma si riscontrano negli stabilimenti industriali, è possibile che non sia necessario intervenire con dispositivi di protezione per limitare le tensioni. Questo è tanto più vero quanto minori sono le temperature e/o i diametri.

Nel caso in cui si renda necessario ridurre le sollecitazioni, si interviene con compensatori e giunti di dilatazione che assorbono le dilatazioni riducendo o eliminando completamente le tensioni indotte per effetto termico. Nel primo caso si parla di compensatori di dilatazione con generazione di spinta, nel secondo caso di compensatori di dilatazione senza o quasi generazione di spinta.

Il tipo più semplice di compensatore di dilatazione è il **compensatore a lira o ad omega** (Fig.1.7.2).

Montaggio e protezione delle tubazioni

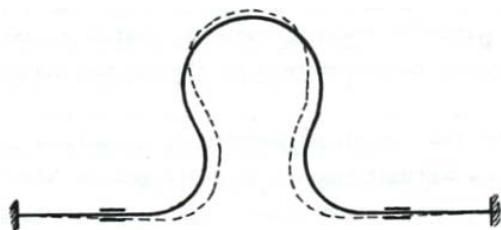


Fig. 1.7.2 – Schema di un compensatore a lira o ad omega.

Si tratta di un dispositivo utilizzato per assorbire la dilatazione assiale che si manifesta in un tratto di condotta rettilineo collegato tra due punti fissi. Nel dispositivo si ha una parziale sollecitazione a flessione anche nei tratti rettilinei, per cui è opportuno inserire delle guide in vicinanza degli attacchi al giunto.

Inserendo il giunto a uguale distanza dai punti fissi si ottiene una migliore condizione di lavoro, essendo caricato in modo simmetrico.

Il compensatore a lira presenta il notevole **vantaggio** di poter essere realizzato in opera con eventuale ricorso a curve prefabbricate.

Per contro presenta lo **svantaggio** di allungare artificiosamente le percorrenze e di deviare la direzione di marcia del fluido, con la conseguenza di introdurre un ingombro e di aumentare le perdite di carico.

La dilatazione compensata dipende dal diametro, dallo spessore, dallo sviluppo lineare e dal raggio di curvatura, che solitamente vale 4 o 5 volte il diametro. L'impiego è limitato nel caso di piccoli spessori e grandi diametri.

Lo sviluppo lineare L può essere calcolato ricorrendo ad alcune semplificazioni (Fig.1.7.3).

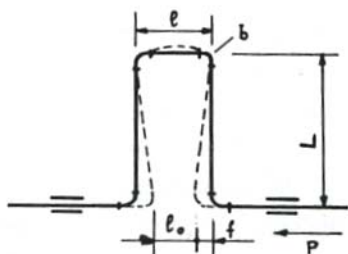


Fig. 1.7.3 – Schema semplificato di un compensatore a lira o ad omega per il calcolo dell'ingombro funzionale all'assorbimento della freccia.

Se si considerano i bracci laterali del giunto come travi caricate a sbalzo, ipotesi tanto più vera quanto più elevato è il rapporto L/l , poiché il tratto L ruota di un certo angolo intorno al tratto b , si può scrivere il momento flettente come:

$$M_f \propto P \cdot L$$

con P il carico trasmesso al giunto per effetto della dilatazione e di eventuali spinte del fluido. Risulta, inoltre:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} = \frac{M_f}{J} \cdot \frac{D}{2} \propto \frac{P \cdot L \cdot D}{J}$$

dove W è il modulo di elasticità, J il momento d'inerzia rispetto all'asse neutro e $D/2$ è la distanza dell'asse neutro dalle fibre maggiormente tese. D'altro canto la freccia risulta:

Montaggio e protezione delle tubazioni

$$f \propto \frac{P \cdot L^3}{J}$$

Se si impone, quindi, che σ_f assuma il valore pari a quello accettabile al fine della resistenza strutturale del giunto, questo comporta:

$$\sigma_{amm} \propto \frac{P \cdot L \cdot D}{J} \Rightarrow \frac{P \cdot L}{J} \propto \frac{1}{D} \Rightarrow f \propto \frac{L^2}{D}$$

Ne consegue, pertanto, che:

$$L = k \cdot \sqrt{f \cdot D}$$

cioè che l'ingombro del compensatore è funzione della freccia e del diametro della tubazione. Al fine di limitare l'ingombro e garantire la funzione desiderata, si possono montare i compensatori a lira con una pretensione opposta a quella che si verificherà durante l'esercizio per effetto della dilatazione termica.

Il compensatore, quindi, verrà tenuto in dilatazione con un distanziale (Fig.1.7.4), che sarà rimosso una volta effettuata l'installazione.

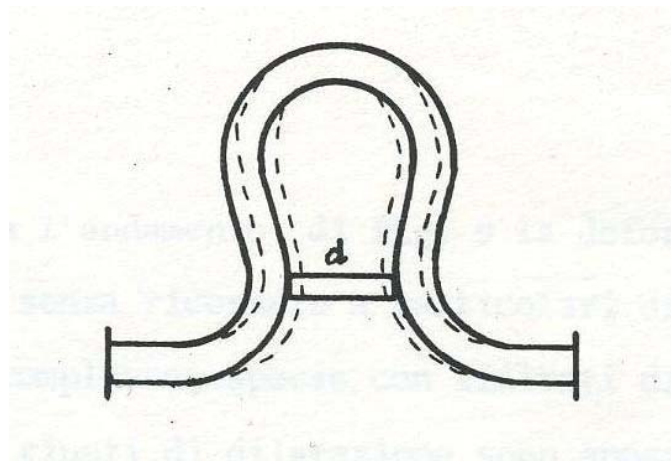


Fig. 1.7.4 – Installazione in pretensione di un compensatore di dilatazione a lira.

In questo caso lo sforzo trasmesso al compensatore sarà pari a quello indotto dalla dilatazione (P), nel caso di compensatore montato a riposo, ridotto del carico di prepensionamento (P_0):

$$P' = P - P_0$$

I giunti a lira possono essere lisci, pieghettati o corrugati a caldo negli intradossi, in modo da non tendere eccessivamente l'estradosso durante la flessione.

Montaggio e protezione delle tubazioni

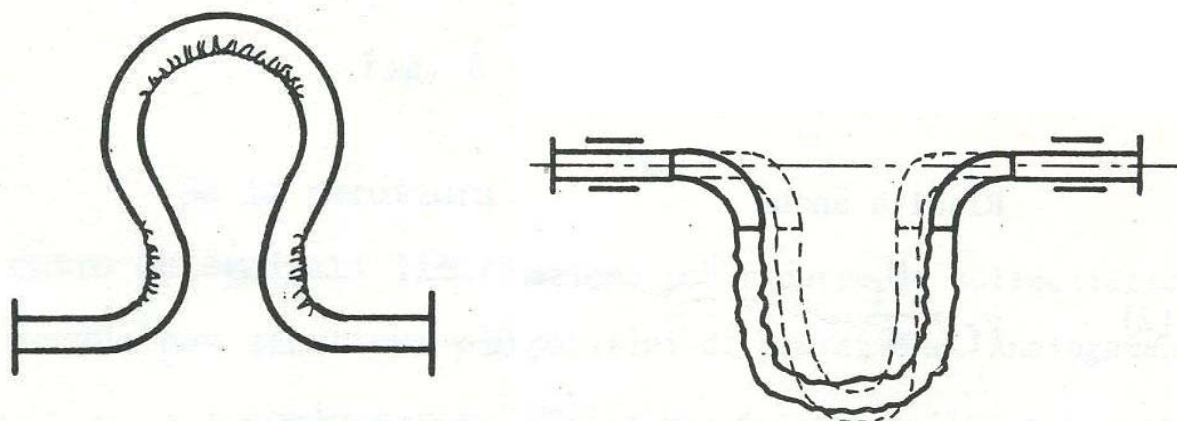


Fig. 1.7.5 – Lavorazioni e materiali utilizzati per i compensatori a lira.

Fino a certe pressioni e temperature, i giunti a lira, possono essere sostituiti da giunti flessibili in gomma o in lega metallica per temperature più elevate.

I compensatori assiali a soffiello vengono inseriti in un tratto di tubazione orizzontale senza, quindi, modificare il lay-out del percorso. Supponiamo di sezionare un tratto di tubazione che collega due punti fissi e di inserire, in corrispondenza della sezione, una scatola cilindrica, coassiale alla tubazione, di maggiore ingombro rispetto alla tubazione stessa. Per effetto della dilatazione termica della tubazione, le due facce della scatola cilindrica si fletteranno (Fig.1.7.6).

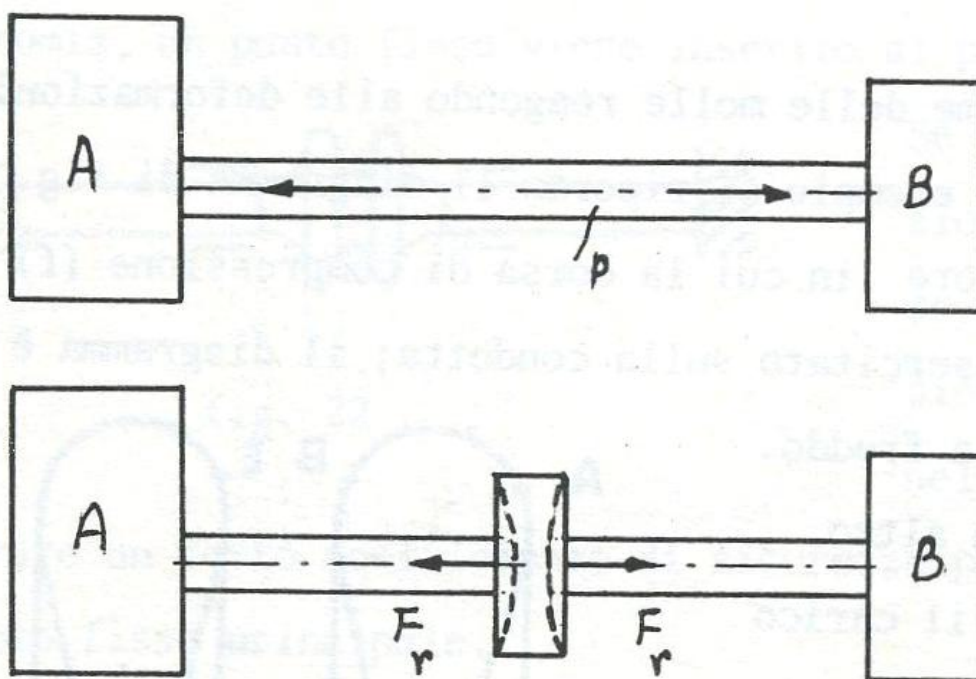


Fig. 1.7.6 – Inserimento di un ipotetico elemento elastico tra due punti fissi di un impianto termico.

L'elemento elastico resisterà allo spostamento opponendo una reazione pari a F_r , che è la forza elastica conseguente alla flessione delle facce parallele. Sulle facce parallele della scatola, inoltre, agisce una forza dovuta alla pressione del fluido. Siccome l'elemento è elastico, tale forza, anche se uguale e contraria, non si annulla ma si scarica sui punti fissi aggiungendosi alla forza resistente. La forza di pressione agisce su un'area efficace (A_{eff}) per cui il carico complessivo, che agisce sui punti fissi, vale:

Montaggio e protezione delle tubazioni

$$F = F_r + p \cdot A_{eff}$$

Gli elementi elastici utilizzati a tale scopo nelle tubazioni prendono il nome di **compensatori assiali o a soffietto** (Fig. 1.7.7) e possono essere di forma e materiali diversi a seconda del loro impiego.

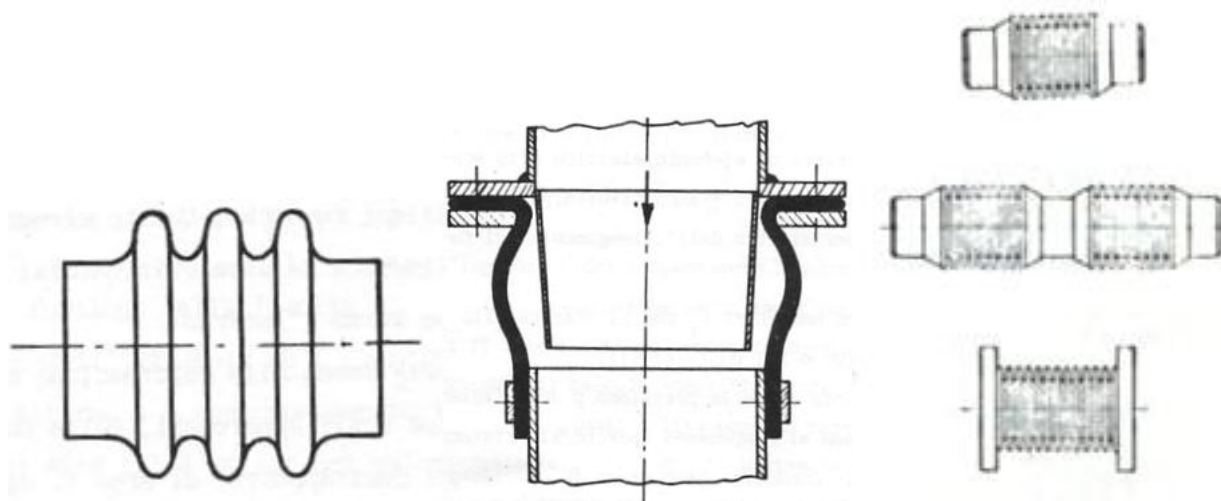


Fig. 1.7.7 – Esempi di compensatori assiali a soffietto.

Per limitati valori di temperatura e di pressione, possono essere adottati soffietti in gomma di forma semplice o giunti a cannocchiale con elementi elastici. Per le condizioni di lavoro più severe, si utilizzano, invece, soffietti metallici realizzati con ondulazioni di un cilindro secondo particolari lavorazioni.

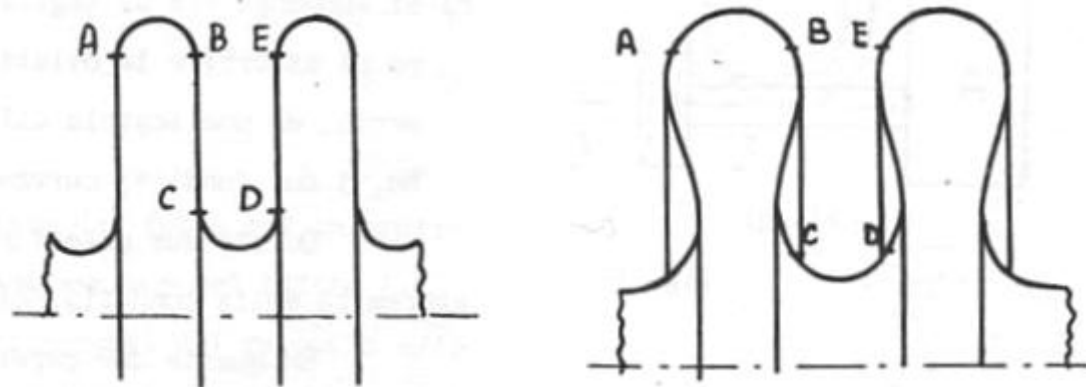


Fig. 1.7.8 – Evidenziazione delle curvature esterne di un compensatore a soffietto di tipo metallico.

La deformazione elastica in direzione assiale, non è ottenuta dalla flessione degli archi $\widehat{AB}$, $\widehat{CD}$ ma avviene lungo il fianco dell'onda, per flessione dei dischi $\overline{BC}$, $\overline{ED}$. La rottura a fatica si verifica sempre nei passaggi da fianco a curva nell'onda interna $\widehat{CD}$. Per limitare tale fenomeno, i fianchi possono essere realizzati in forma leggermente ondulata.

La forza resistente è circa proporzionale alla freccia e dipende fortemente dal diametro delle tubazioni come si evince dal grafico 1.7.9 ottenuto sperimentalmente.

Montaggio e protezione delle tubazioni

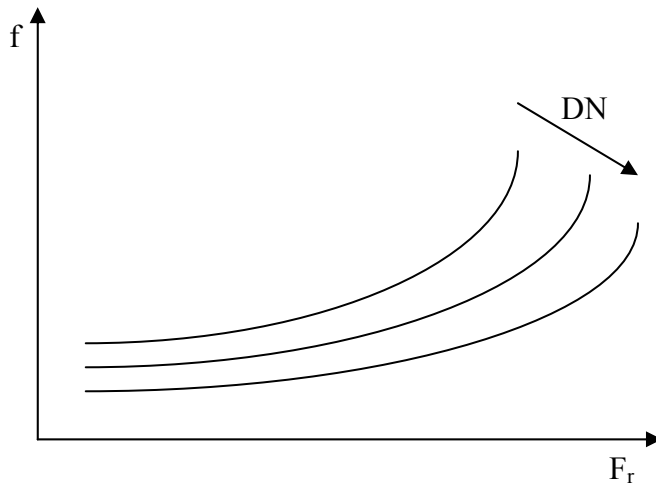


Fig. 1.7.9 – Dipendenza della forza resistente dalla freccia e dal diametro nominale della tubazione.

A parità di freccia, la forza resistente aumenta all'aumentare del diametro. La spinta dovuta alla pressione si esercita su un'area efficace, indicata sui cataloghi dei costruttori, pari a:

$$A_{eff} = \frac{\pi \cdot d_m^2}{4}$$

dove d_m , diametro medio del soffiutto, è calcolato in riferimento all'ingombro interno ed esterno dell'ondulazione:

$$d_m = \frac{d_e + d_i}{2}$$

Se ad esempio utilizziamo i dati dell'esempio precedente, $\Delta T=100$ [°C], $\Delta L=60$ [mm], $L=50$ [m], per cui $f=30$ [mm], utilizzando un soffiutto di DN 80 impiegato per $p=25$ [bar], prendendo come dato sperimentale un valore di $F_r=1500$ [N], ed assumendo un diametro medio $d_m=103$ [mm], si ottiene:

$$F = F_p + F_r = 20425 + 1500 = 21925 \text{ [N]}$$

che risulta di un ordine di grandezza inferiore rispetto al valore calcolato in assenza del compensatore. Si osserva che il carico dovuto alla pressione è di norma molto maggiore rispetto alla forza resistente. Lo spessore del soffiutto è calcolato in funzione della pressione, pertanto, all'aumentare della pressione aumenta lo spessore del soffiutto. Questo aumento di spessore conferisce, al compensatore, una maggiore rigidità, con conseguente aumento della forza resistente a parità di freccia. Le parti del soffiutto, inoltre, sono sollecitate a flessione con fibre esterne tese ed interne compresse. Con l'aumentare della pressione, quindi, aumenta la distanza delle fibre tese dall'asse neutro e, di conseguenza, aumentano le sollecitazioni (Fig. 1.7.10).

Montaggio e protezione delle tubazioni



Fig. 1.7.10 – Sollecitazione di un'ondulazione sotto azione di flessione e struttura plurilamellare del soffietto per limitare le sollecitazioni massime.

Per ovviare a questo problema possono essere realizzati dei soffietti nei quali le ondulazioni sono state ottenute da più lamelle sovrapposte. In questo modo, tutte le lamelle concorrono alla resistenza strutturale a pressione, ma, durante la flessione, ogni lamella si comporta in modo del tutto indipendente dalle altre. Si riduce così la distanza massima delle fibre tese dall'asse neutro, riducendo la sollecitazione massima.

I compensatori assiali vengono applicati alle tubazioni per saldatura, filettatura o mediante flange. Essendo elementi elastici, infine, devono essere supportati da guide nel tratto immediatamente precedente e successivo. Tali guide esercitano, quindi, durante lo spostamento delle tensioni di attrito che devono essere sommate alla forza resistente e a quella di pressione per calcolare correttamente la forza rimanente sui punti fissi. Se si dovesse rendere necessario, al fine di riportare le tensioni scaricate sui punti fissi al di sotto del valore ammissibile, introdurre più di un compensatore assiale lungo un tratto di tubazione, è opportuno inserire a uguale distanza tra i due compensatori contigui, un punto fisso.

Per limitare, infine, l'aumento delle perdite di carico, dovute alle turbolenze che si manifestano in corrispondenza del passaggio di fluido attraverso il compensatore, può essere opportuno munire tale compensatore con tubi a cannocchiale di piccolo spessore. Lo spessore di piccola dimensione non comporta problemi dal punto di vista della resistenza poiché è soggetto alla stessa pressione internamente e d'esternamente.

Altro tipo di compensatore di dilatazione è quello a snodo (Fig.1.7.11), costruttivamente simile al compensatore assiale a soffietto, ma al quale viene impedito il movimento assiale. Viene, invece, permessa la rotazione attorno all'asse trasversale tramite una cerniera. Per garantire la rotazione, il compensatore a snodo non può essere dotato di un tubo interno per limitare le perdite di carico, di conseguenza le perdite sono maggiori rispetto al compensatore a soffietto.

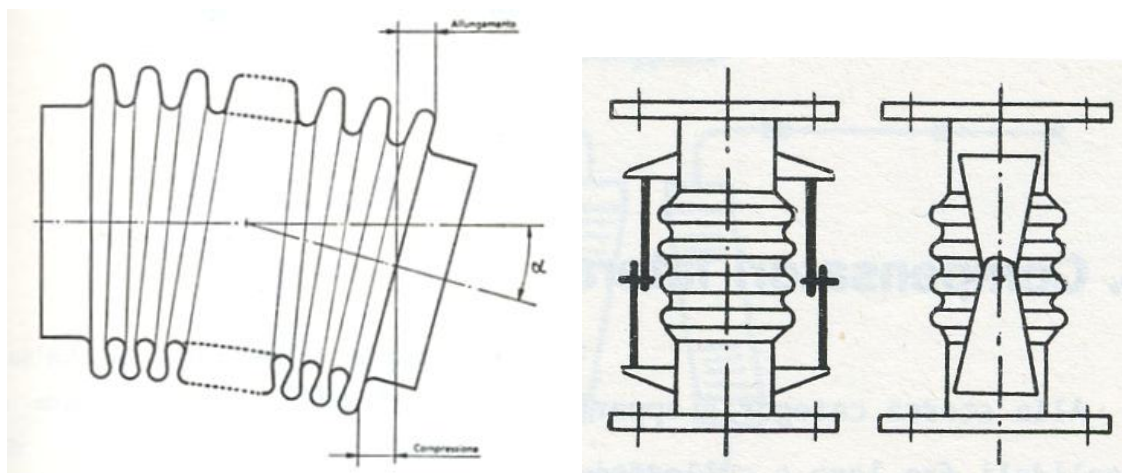


Fig.1.7.11 – Schemi di compensatori a snodo.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Il compensatore a snodo è utilizzabile quando la tubazione può essere deviata nel suo percorso. Per poter realizzare la compensazione, lo snodo deve essere montato abbinato ad almeno un altro snodo (Fig.1.7.12).

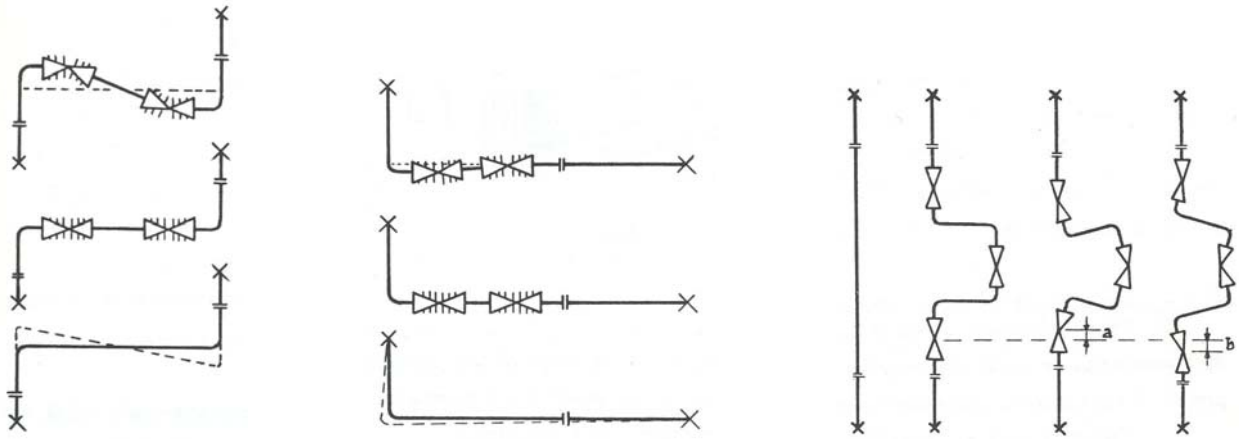


Fig.1.7.12 – Schemi di montaggio di compensatori di dilatazione a snodo.

Montaggio e protezione delle tubazioni

Glossario:

1. **RAL**, in origine [acronimo](#) di *Reichsausschuss für Lieferbedingungen* (Comitato del [Reich](#) Tedesco per termini e condizioni di vendita, istituito nel [1925](#) dalla [Repubblica di Weimar](#)), è un termine oggi usato quasi esclusivamente per definire una scala di [colori](#) normalizzata. Esistono due scale, la RAL 840 HR per colori opachi, e la RAL 841 GL per colori brillanti. La RAL 840 è stata introdotta nel [1927](#) con 40 campioni di colore; oggi 30 di questi sono ancora presenti, su un totale di quasi 2000 colori definiti. La classificazione RAL è costituita da 4 cifre, che classificano i colori in ordine di rilevanza (ad esempio, i 3xxx sono dei rossi, e così via).
2. a
3. d