

## 15.5 CILINDRI VERTICALI SNELLI

La verifica dei recipienti sviluppati prevalentemente in verticale, quali per esempio le colonne di distillazione, non deve considerare la sola pressione, ma anche il peso proprio, il peso del fluido, le spinte orizzontali del vento e del sisma, combinando queste azioni nel modo più sfavorevole, in modo da ottenere la massima sicurezza.

### 15.5.1 PRESSIONE

Le tensioni indotte dalla pressione si calcolano con la consueta teoria dei recipienti a parete sottile.

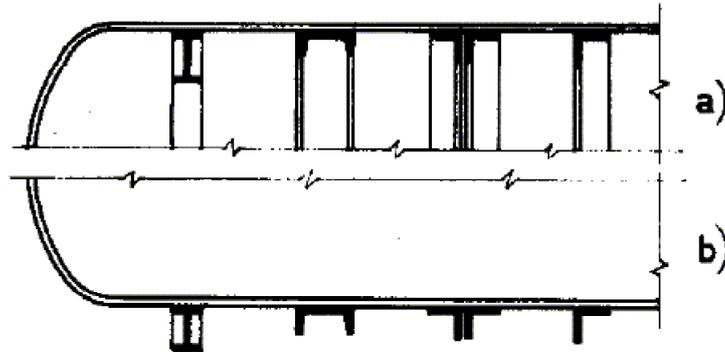


Figura 80: Cerchiature interne (a) ed esterne (b) di un recipiente.

Tabella 15: Variazione del modulo elastico con la temperatura

Modulo di elasticità per acciai al carbonio, debolmente legati e legati al Ni fino al 3.5%								
t	°C	20	100	200	300	400	500	600
E <sub>t</sub>	kgf/mm <sup>2</sup>	21.000	20.500	19.500	18.500	17.500	16.500	15.500
	N/mm <sup>2</sup>	205.940	201.036	191.230	181.423	171.616	161.810	152.003

Modulo di elasticità per acciai inossidabili austenitici								
t	°C	20	100	200	300	400	500	600
E <sub>t</sub>	kgf/mm <sup>2</sup>	20.000	19.400	18.500	17.600	16.600	15.800	15.000
	N/mm <sup>2</sup>	196.133	190.249	181.423	172.597	162.790	154.945	147.100

### 15.5.2 CARICHI STATICI

I carichi da considerare sono:

- Peso proprio del mantello, compresi passi d'uomo, bocchelli e rinforzi
- Peso delle strutture interne, come piatti e strati di riempimento
- Peso delle strutture esterne, come scale, ballatoi, passerelle
- Peso dell'isolamento termico e delle tubazioni sopportate dal mantello
- Peso dei fluidi contenuti sui piatti.
- Sovraccarichi accidentali, soprattutto in caso di montaggio e di manutenzione.

Tutti questi carichi inducono nel mantello una tensione assiale di compressione variabile lungo l'altezza, che nel caso di carichi centrati risulta uniforme e pari a

$$\sigma_{aw} = -\frac{w(L-x)}{\pi Ds}$$

in cui  $w$  è il peso delle strutture per unità di altezza,  $L$  l'altezza totale della colonna,  $x$  la quota da terra,  $D$  il diametro della colonna ed  $s$  lo spessore. Si faccia attenzione, come al solito, ad usare unità coerenti. Il massimo valore di questa tensione è alla base della colonna.

### 15.5.3 SPINTA DEL VENTO

La spinta del vento sulle costruzioni si riconduce a una forza orizzontale distribuita sulla superficie esposta. Essa è dovuta sia alla pressione di ristagno sulla superficie sopravvento, sia al distacco di vortici, sia ad una depressione sulla superficie sottovento.

L'attuale normativa consiste essenzialmente nel D.M. 16-1-1996 "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi", e nella relativa circolare esplicativa 4-7-1996 n.156/AA.GG. "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi". Tale normativa stabilisce una pressione cinetica  $q_{ref}$  dovuta al vento, variabile in funzione della posizione geografica e dell'altitudine, che viene poi maggiorata con opportuni coefficienti, per ottenere la pressione  $p$ . Uno dei coefficienti, quello di esposizione, varia anche con la quota fuori terra della costruzione, e quindi la pressione agente è in generale crescente con la quota.

La formula è:

$$p = q_{ref} \times c_e \times c_p \times c_d$$

in cui

- $q_{ref}$  è la pressione cinetica di riferimento, calcolata in funzione della posizione geografica e dell'altitudine dell'impianto;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione, variabile in funzione della posizione topografica (per esempio, impianto posto in una valle, o in cima ad una collina) e dell'altezza fuori terra della costruzione.
- $c_p$  è il coefficiente di forma, o aerodinamico, dipendente dalla tipologia della costruzione (p.e. edifici, coperture di vario tipo, travature reticolari, corpi cilindrici, sfere)
- $c_d$  è il coefficiente dinamico.

Per quanti riguarda i corpi cilindrici, il coefficiente aerodinamico  $c_p$  è

$$c_p = \begin{cases} 1.2 & \text{per } d\sqrt{q} \leq 2.2 \\ 1.783 - 0.263d\sqrt{q} & \text{per } 2.2 < d\sqrt{q} < 4.2 \\ 0.7 & \text{per } d\sqrt{q} \geq 4.2 \end{cases}$$

in cui  $d$  è espresso in metri e  $q = Q_{ref}c_e$  è espresso in  $\text{N m}^{-2}$ .

### 15.5.4 CARICO SISMICO

Il terremoto consiste in una vibrazione del terreno, che induce una sollecitazione nelle strutture. Tale sollecitazione può essere studiata sia con metodi dinamici, quindi essenzialmente con l'analisi modale, sia con metodi statici, applicando sulla struttura dei carichi statici che simulano l'azione dei carichi dinamici. Il metodo statico è adatta solo a quelle strutture di tipo a massa concentrata, quali gli edifici civili; per sistemi a massa distribuita, come appunto un recipiente alto, è preferibile il metodo dinamico.

La normativa in vigore consiste nel D.M. 16-1-1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica" e nella circolare 10-4-1997 n. 65/AA.GG. "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Un recipiente alto e snello può essere schematizzato come una mensola incastrata alla base e libera alla sommità. Un metodo di analisi modale può essere quello di determinare le frequenze di vibrazione e le relative deformate per i primi  $n$  modi di vibrare; dato il tipo di schema si considerano solo modi flessionali.

Sono ben note le espressioni che danno i modi di vibrare (autovettori) e i periodi (correlati con gli autovalori) di una trave a mensola; il periodo del modo più basso è:

$$T_1 = \frac{2\pi}{3.5160} \sqrt{\frac{ml^4}{EI}}$$

in cui  $m$  è la massa per unità di lunghezza,  $l$  la lunghezza,  $E$  il modulo di Young e  $I$  il momento d'inerzia della sezione trasversale, e due successivi sono:

$$T_2 = T_1/6.2669 \quad T_3 = T_1/17.5475$$

Conoscendo la deformate normalizzate  $\phi_i$  corrispondenti a ciascun modo di vibrare si determina la massa modale

$$M_i = \int_0^l \phi_i^2(x)m(x)dx$$

Il fattore di normalizzazione per ogni modo si determina con l'espressione:

$$Y_i = \frac{Q_i a_i}{M_i \omega_i^2}$$

In cui  $a_i$  l'accelerazione in corrispondenza del periodo  $T_i$ ,  $\omega_i = 2\pi/T_i$  e  $Q_i$  è il carico modale,

$$Q_i = \int_0^l \phi_i(x)m(x)dx$$

Una volta trovato  $Y_i$  la deformata effettiva per il modo  $i$ -esimo è:

$$f_i(x) = Y_i \phi_i$$

dalla conoscenza della deformata tramite la teoria delle travi si giunge a trovare il diagramma del momento. Per il diagramma del momento complessivo la normativa prescrive:

$$M(x) = \sqrt{\sum_i M_i^2}$$