

Raffaele Angelini, Bonetti S.p.A.

UNA APPLICAZIONE DEL TITANIO SU GALLEGGIANTI AD ALTA PRESSIONE E TEMPERATURA.

L'applicazione che intendiamo descrivere riguarda la soluzione di un problema noto solo a pochi "addetti ai lavori", e tuttavia ci sembra che valga la pena di parlarne per il motivo che, conti alla mano come vedremo, senza il Titanio ASTM B265 Gr. 4 il problema sarebbe ancora irrisolto.

Per questa applicazione l'elemento "tecnologico" è un galleggiante, (brevettato dalla C. BONETTI S.p.A.) che deve operare con:

- . pressioni esterne fino a 210 bar
- . temperature fino a 380°C
- . densità relativa del liquido poco maggiore di 0,5

Diciamo subito che galleggianti per queste condizioni sono ancora fattibili, ma esistono altri possibili "stati" quali:

- . pressione esterna 220 bar
- . temperatura 30°C
- . densità relativa 1

oppure:

- . pressione esterna, qualche decina di bar
- . temperatura 300°C
- . densità circa 0,9

E inoltre, passaggi da una condizione all'altra in modo rapido e casuale.

L'inviluppo delle condizioni è quindi tale che gli accorgimenti buoni per un caso, sono forse negativi per un altro: ad esempio un liquido evaporante nell'interno del galleggiante, con l'aumento della temperatura dà luogo a una pressione interna che tende a bilanciare la pressione esterna e a compensare così anche la riduzione delle caratteristiche meccaniche del materiale dovuta alla temperatura: ma se la temperatura scende e la pressione cresce anche di poco, il galleggiante collassa.

Per descrivere la soluzione offerta dall'impiego del titanio non è necessario ripercorrere l'intera progettazione di questo sigaro leggero e resistente, e tanto meno ripassare tutte le verifiche di stabilità; basterà dare un'occhiata ai "passaggi chiave".

Intanto la forma ottimale è risultata quella di un cilindro a parete sottile con centine, dove centine e parete fanno corpo unico.

Il tutto come da disegno 1 e particolare A

I parametri geometrici di questa struttura sono parecchi, ma dopo aver imposto condizioni pratiche e relazioni teoriche i gradi di libertà si riducono a pochi.

Il parametro praticamente imposto dagli standard dei tubi, è il diametro D , nel nostro caso di 56 mm.

Per circa 200 bar a freddo (e ancora sempre in base alle disponibilità

commerciali) lo spessore s è 0,8 mm. come verificheremo.

Consideriamo l'equazione (curva disegnata in fig. 2) :

$$\frac{M_x}{M_0} = e^{-\beta x} (\sin \beta x + \cos \beta x)$$

$$\text{con } \beta = \frac{\sqrt[4]{3(1-\nu^2)}}{rs} \quad \text{e } \nu = 0,33, \text{ cioè } \beta = \frac{1,8}{\sqrt{Ds}}$$

relativa all'influenza della centina, e imponiamo per la mezzeria ($x=1$) un valore prossimo allo zero (cioè contribuzione nulla). Dal diagramma ricaviamo

$$\frac{l}{\sqrt{Ds}} = 1,3$$

cioè $2l = 18mm$.

Il momento d'inerzia della sezione del rinforzo più la parte del cilindro collaborante deve essere

$$J > K \frac{P}{24E} L_r D^3$$

dove $L_r = 4\sqrt{Ds}$ (e comunque $L_r \leq 2l$)

e K è un fattore di sicurezza, per noi uguale a 1,5

$$\text{cioè } J > 0,06 \cdot \frac{2}{10500} \cdot 18 \cdot 56^3 = 38mm^4$$

La sezione resistente è un "T" costituito dalla sezione dell'anello e due ali ciascuna di spessore s (cilindro) e di estensione $0,55\sqrt{Ds} = 3,7mm$ il cui momento di inerzia è $40 mm^4$.

Verifichiamo ora la stabilità a freddo in queste condizioni:

Dalla formula

$$p_c = \frac{E \frac{s}{r}}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi r}{n2l} \right)^2} \left\{ \frac{1}{n^2 \left[1 + \left(\frac{n2l}{\pi r} \right)^2 \right]^2} + \frac{n^2 s^2}{12r^2(1-\nu^2)} \left[1 + \left(\frac{\pi r}{n2l} \right)^2 \right]^2 \right\}$$

(in cui consideriamo $n=2...$ per esperienza!) introducendo i valori già indicati, e il modulo del titanio pari a 10500 Kg/mm^2 , ricaviamo un valore

$$p_c = 280 \text{ bar}$$

Correggiamo tale valore con un fattore $\frac{1}{1+0,5} = 0,7$ per tener conto di una eccentricità dell'1% (vedi bibliografia) , confermando così i 200 bar richiesti.

Per completezza controlliamo anche il valore della sollecitazione in mezzeria :

$$\sigma = - \left(1 - \frac{\nu}{2} \right) \frac{pr}{s} = - \frac{0,84 \cdot 2 \cdot 28}{0,8} = -60 \text{ kg/mm}^2$$

Questi valori concordano con quanto ricavato nelle prove da noi eseguite: i galleggianti pressurizzati a 70 bar, collassano ad oltre 270 bar, come previsto.

Verifichiamo ora il comportamento alla temperatura di 380°C .

Il modulo elastico scende da 10500 a 8400 Kg/cm^2 .

Poiché gli altri parametri restano costanti la pressione critica diminuisce in proporzione:

$$p_{ct} = 200 \frac{8400}{10500} = 160 \text{ bar}$$

Data la pressurizzazione a freddo e il tipo di miscela impiegata l'aumento della pressione interna è di circa 70 bar, sufficiente a compensare la riduzione pc - pct, pari a 200 - 160 = 40 bar.

Poiché il limite di snervamento si riduce circa il 35% del corrispondente a freddo (cioè molto più del modulo), verificiamo anche questa circostanza; tenuto conto che la pressione interna a questa temperatura è 140 bar, per il funzionamento a 210 bar dobbiamo verificare la sollecitazione corrispondente a 70 bar:

$$\sigma = -\left(1 - \frac{\nu}{2}\right) \frac{pr}{s} = -\frac{0,84 \cdot 0,7 \cdot 28}{0,8} = -20,5 \text{ kg/mm}^2$$

Anche questo valore è accettabile e in accordo con le prove.

Eseguendo lo stesso dimensionamento con acciaio inox avremmo ricavato uno spessore alquanto minore, cioè mm 0,6 invece di 0,8.

Ma ciò non servirebbe, per il semplice motivo che un galleggiante così fatto... non può galleggiare.

Infatti, detto m il numero di sezioni il peso P sarebbe:

$$P = m q \gamma + m \gamma 2\pi(2ls + h\delta) + 4\pi r^2 s \gamma + G$$

dove G è il peso del gruppo magnetico e della miscela di pressurizzazione, γ il peso specifico del materiale, e q il volume di apporto saldatura, (circa 300 mm³ ogni tamburo).

La spinta di galleggiamento F è (tenendo conto della parte emersa):

$$F = \delta \left[\frac{2}{3} \pi r^3 + (2l+h)(m-2)\pi r^2 \right]$$

dove δ è il peso specifico del liquido.

Poiché deve essere $F = P$, vediamo qual'è il valore di m necessario nei due casi (introducendo i valori, e passando a g e cm.):

Acciaio: $m(49,25\delta - 4,2\gamma) = 7,2\gamma + 52,5\delta + 85$

Titanio: $m(49,25\delta - 4,5\gamma) = 7,8\gamma + 52,5\delta + 85$

poiché è $\delta = 0,56 \text{ g/cm}^3$, nel caso dell'acciaio ($\gamma = 8$) il coefficiente di m è negativo e non c'è numero di tamburi che renda possibile il galleggiamento.

Per il titanio si ha invece :

$$m(27,6 - 20) = 35,7 + 29,4 + 85$$

da cui $m = 20$.

cioè il pezzo effettivamente costruito e impiegato.

Ultima notazione:

questo notevole concordare di calcoli e di effettivo comportamento è dovuto anche al tipo di costruzione, cioè sostanzialmente delle saldature che conferiscono al componente una rara omogeneità e rigidità di struttura.

BIBLIOGRAFIA

<u>AUTORE</u>	<u>TITOLO</u>	<u>EDIZIONE</u>
1) Warren C. Young	Roark's formulas for Stress and Strain	Mc Graw Hill 1989
2) Emilio Massa Luigi Bonfigli	Costruzione di Macchine	Masson Italia 1985
3) Ginatta Torno Titanium	Facts about titanium	RT 87/03 - 039
4) Donatello Annaratone	Recipienti in pressione	CLUP MI 1979

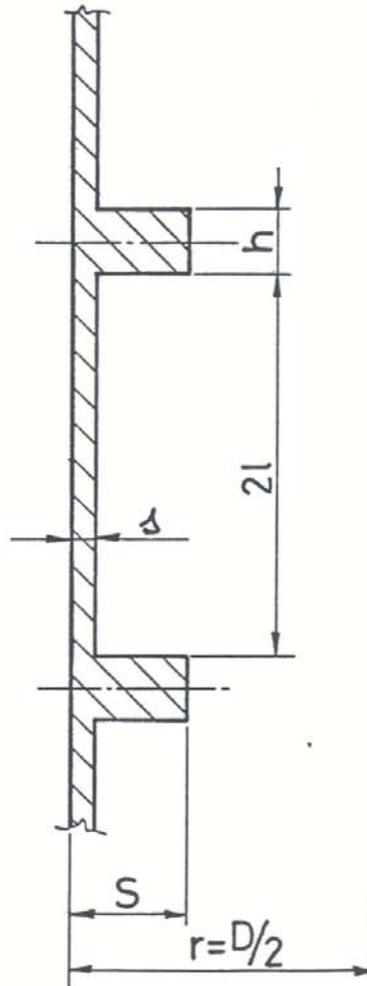
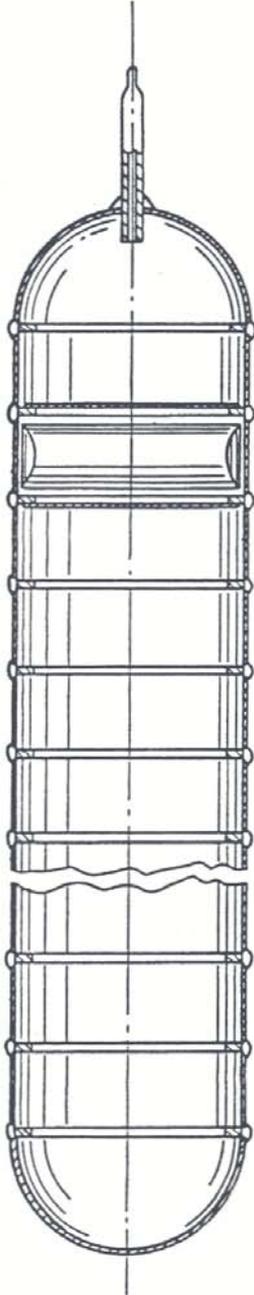


BONETTI

NORMATIVE BONETTI

N° 002668

PARTICOLARE (A) DI DISEGNO (1)



PREP. *[Signature]*
VER IF. *[Signature]*
APPR. *[Signature]*

GALLEGGIANTE MAG-THP 210

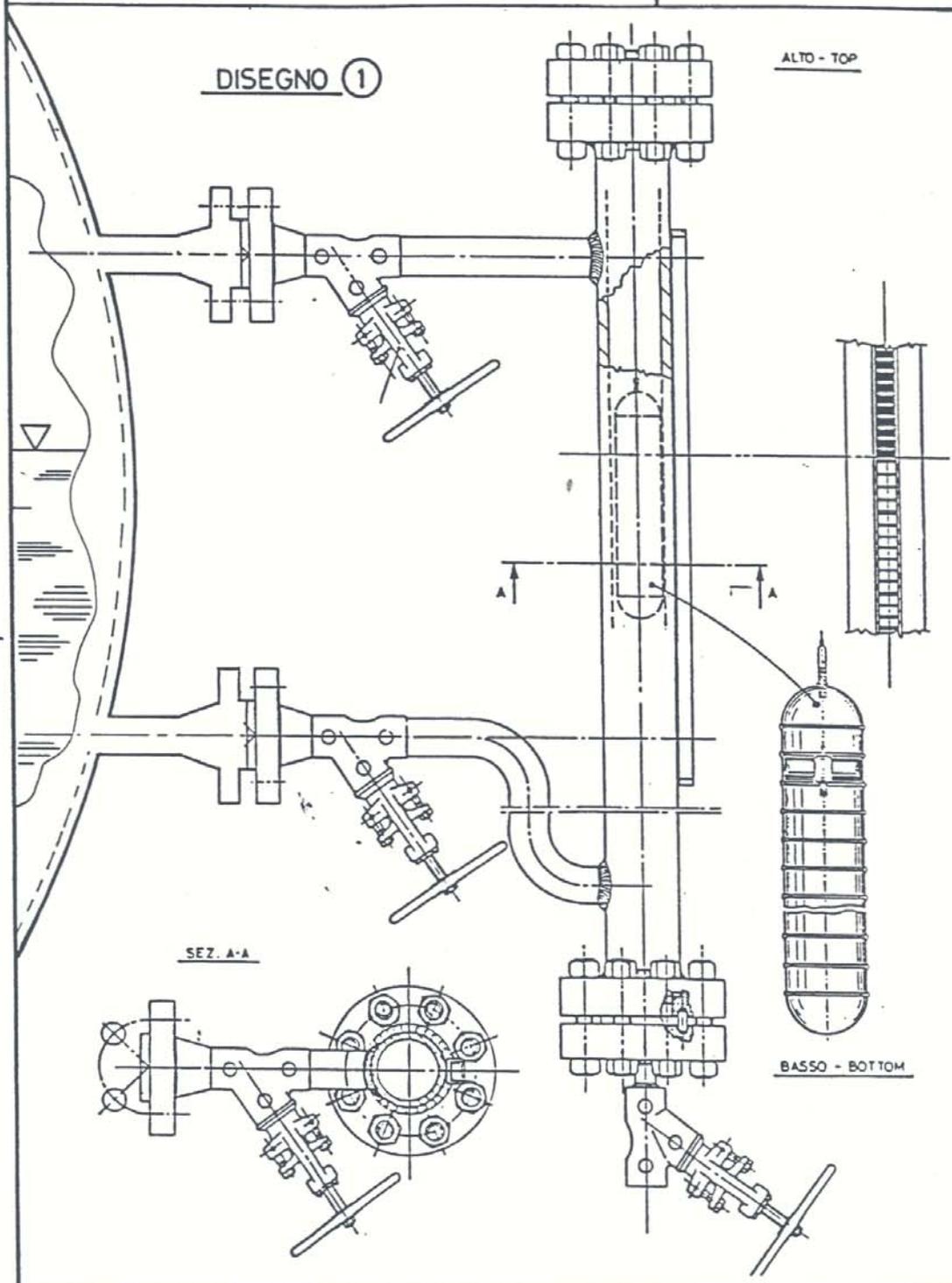
REV. No 0
DATA 14 9 89
PAG. 1 DI 1



BONETTI[®]

NORMATIVE BONETTI

N° 002667



PREP. *De. Melli/Leij*
VERIF. *Leij*
APPR. *SN*

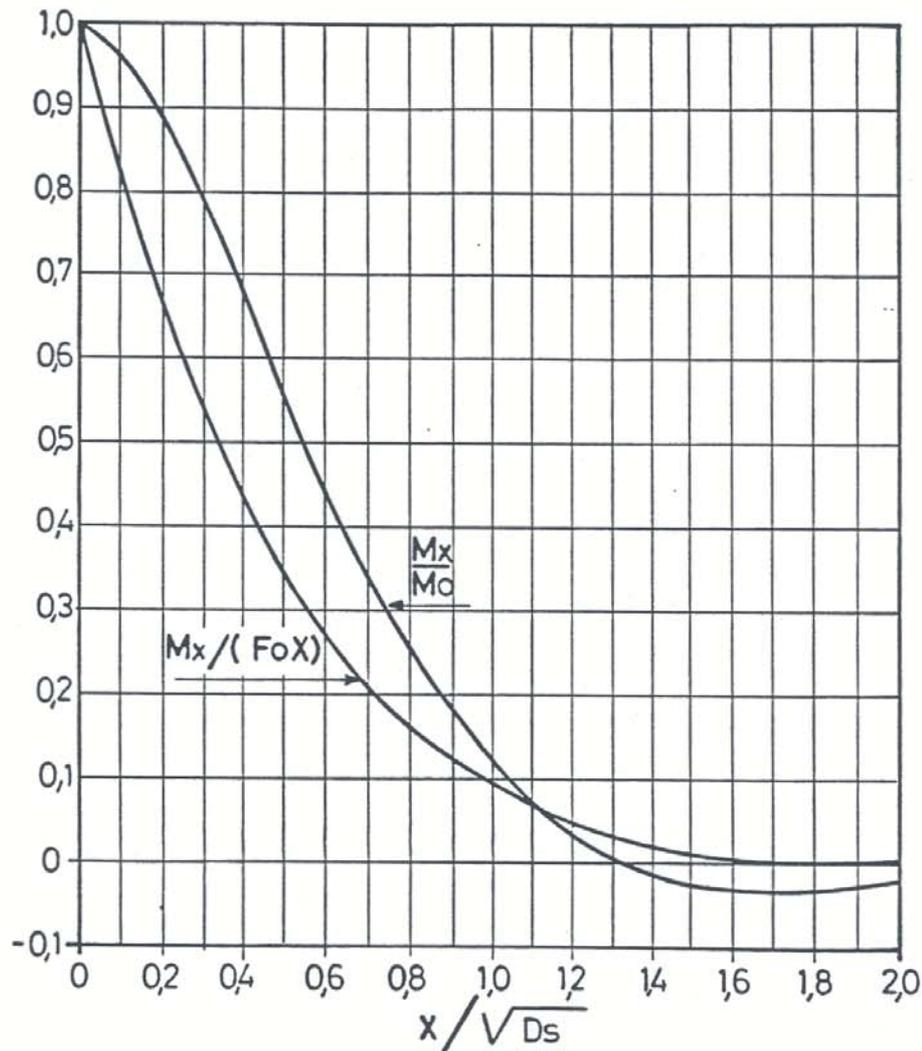
INDICATORI DI LIVELLO **BONT**[®]
SENSORE MAGNETICO ADATTI PER
VAPORI D'ACQUA TIPO MAG-THP 210

REV. No 0
DATA 14/09/89
1 1



FIG. (2)

ANDAMENTO DEL MOMENTO FLETTENTE INDOTTO LUNGO LA DIREZIONE
DELL'ASSE DEL CILINDRO PER EFFETTO DELL'IRRIGIDIMENTO
SU UNA SEZIONE ($x = 0$)



PREP. *De Michelis*
VERIF. *[Signature]*
APPR. *FRS*

GRAFICO DELLE CURVE RELATIVE AGLI
"EFFETTI DI BORDO DEI CILINDRI"

REV. No 0
DATA 14-09-89
PAG. 1 DI 1