

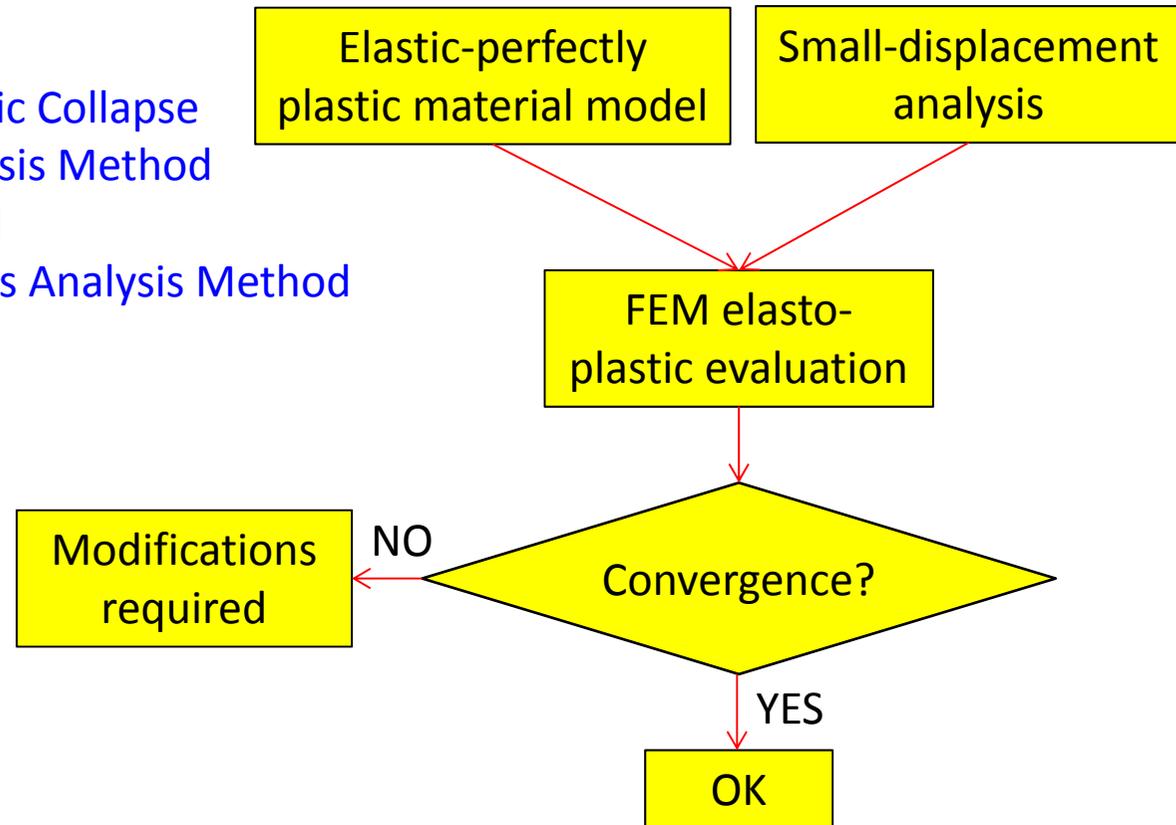


Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

DESIGN BY ANALYSIS/4 (ASME VIII Div. 2)

TIPI DI VERIFICHE RICHIESTE

- a) Protection Against Plastic Collapse
 - a) Elastic Stress Analysis Method
 - b) **Limit-Load Method**
 - c) Elastic-Plastic Stress Analysis Method





Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Table 5.4 – Load Case Combinations and Load Factors for a Limit Load Analysis

Design Conditions	
Criteria	Required Factored Load Combinations
Global Criteria	1) $1.5(P + P_s + D)$
	2) $1.3(P + P_s + D + T) + 1.7L + 0.54S_s$
	3) $1.3(P + P_s + D) + 1.7S_s + (1.1L \text{ or } 0.86W)$
	4) $1.3(P + P_s + D) + 1.7W + 1.1L + 0.54S_s$
	5) $1.3(P + P_s + D) + 1.1E + 1.1L + 0.21S_s$
Local Criteria	Per Table 5.5
Serviceability Criteria	Per User's Design Specification, if applicable, see Table 5.5
Hydrostatic Test Conditions	
Global Criteria	$\max \left[1.43, 1.25 \left(\frac{S_T}{S} \right) \right] \cdot (P + P_s + D) + 2.6W_{pt}$
Serviceability Criteria	Per User's Design Specification, if applicable.
Pneumatic Test Conditions	
Global Criteria	$1.15 \left(\frac{S_T}{S} \right) \cdot (P + P_s + D) + 2.6W_{pt}$
Serviceability Criteria	Per User's Design Specification, if applicable.
Notes:	
<ol style="list-style-type: none"> 1) The parameters used in the Design Load Combination column are defined in Table 5.2. 2) See paragraph 5.2.3.4 for descriptions of global and serviceability criteria. 3) S is the allowable membrane stress at the design temperature. 4) S_T is the allowable membrane stress at the pressure test temperature. 5) Loads listed herein shall be considered to act in the combinations described above; whichever produces the most unfavorable effect in the component being considered. Effects of one or more loads not acting shall be considered. 	



Esercizio BPV-8

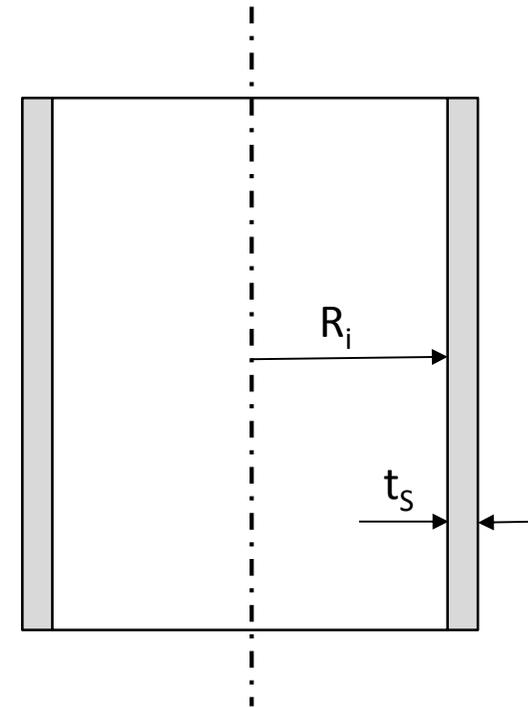
Dato il cilindro mostrato nella Figura, condurre con la metodologia DBA la verifica di resistenza al collasso plastico secondo la tecnica «Limit Load Analysis» e quella «Elastic Stress Analysis» .

Dati:

- pressione interna $P = 120$ bar;
- raggio interno $R_i = 1$ m
- tensione ammissibile (efficienza $E=1$, nessuna correzione per corrosione) : 108 MPa
- tensione di snervamento : 162 MPa
- spessore del fasciame cilindrico $t_s = 150$ mm

Nota:

-Usare i risultati dell'analisi elasto-plastica vista in precedenza, confrontando il valore limite della pressione con quello effettivo





Esercizio BPV-8 - Svolgimento

Metodo Elastic Stress Analysis

Tensioni agenti P_m , da modello Lamé:

$$\sigma_{rrS} := \frac{P_1 \cdot R_i^2}{(R_i + t_S)^2 - R_i^2} \left[1 - \frac{(R_i + t_S)^2}{R_i^2} \right] = -12 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\theta\theta S} := \frac{P_1 \cdot R_i^2}{(R_i + t_S)^2 - R_i^2} \left[1 + \frac{(R_i + t_S)^2}{R_i^2} \right] = 86.419 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{zzS} := \frac{P_1 \cdot R_i^2}{(R_i + t_S)^2 - R_i^2} = 37.209 \cdot \text{MPa}$$

$$P_m := \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{[(\sigma_{\theta\theta S} - \sigma_{rrS})^2 + (\sigma_{\theta\theta S} - \sigma_{zzS})^2 + (\sigma_{rrS} - \sigma_{zzS})^2]} = 85.233 \cdot \text{MPa}$$

$$P_m = 85.233 \cdot \text{MPa} < S = 108 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK}$$

Metodo Carico limite elasto plastico

Affinché la sezione sia completamente plasticizzata occorre una pressione interna:

$$P_{\text{lim}} := \sigma_y \cdot \ln \left(\frac{R_i + t_S}{R_i} \right) = 226.414 \cdot \text{bar} > P_1 \cdot 1.5 = 180 \cdot \text{bar} \quad \text{OK}$$

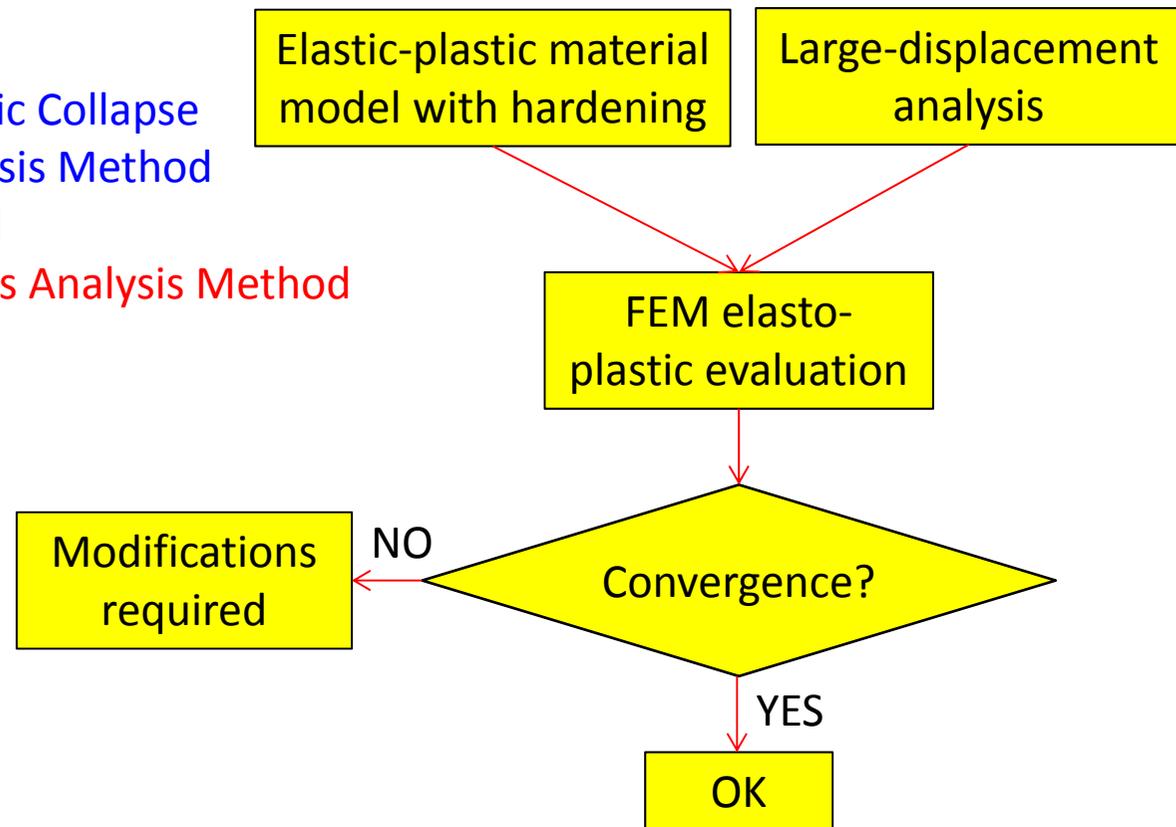


Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

DESIGN BY ANALYSIS/4 (ASME VIII Div. 2)

TIPI DI VERIFICHE RICHIESTE

- a) Protection Against Plastic Collapse
 - a) Elastic Stress Analysis Method
 - b) Limit-Load Method
 - c) Elastic-Plastic Stress Analysis Method





Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Table 5.5 – Load Case Combinations and Load Factors for an Elastic-Plastic Analysis

Design Conditions	
Criteria	Required Factored Load Combinations
Global Criteria	1) $2.4(P + P_s + D)$
	2) $2.1(P + P_s + D + T) + 2.7L + 0.86S_s$
	3) $2.1(P + P_s + D) + 2.7S_s + (1.7L \text{ or } 1.4W)$
	4) $2.1(P + P_s + D) + 2.7W + 1.7L + 0.86S_s$
	5) $2.1(P + P_s + D) + 1.7E + 1.7L + 0.34S_s$
Local Criteria	$1.7(P + P_s + D)$
Serviceability Criteria	Per User's Design Specification, if applicable, see paragraph 5.2.4.3.b.
Hydrostatic Test Conditions	
Global and Local Criteria	$\max \left[2.3, 2.0 \left(\frac{S_T}{S} \right) \right] \cdot (P + P_s + D) + W_{pt}$
Serviceability Criteria	Per User's Design Specification, if applicable.
Pneumatic Test Conditions	
Global and Local Criteria	$1.8 \left(\frac{S_T}{S} \right) \cdot (P + P_s + D) + W_{pt}$
Serviceability Criteria	Per User's Design Specification, if applicable.
Notes:	
<ol style="list-style-type: none"> 1) The parameters used in the Design Load Combination column are defined in Table 5.2. 2) See paragraph 5.2.4.3 for descriptions of global and serviceability criteria. 3) S is the allowable membrane stress at the design temperature. 4) S_T is the allowable membrane stress at the pressure test temperature. 5) Loads listed herein shall be considered to act in the combinations described above; whichever produces the most unfavorable effect in the component being considered. Effects of one or more loads not acting shall be considered. 	



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

DESIGN BY ANALYSIS/3 (ASME VIII Div. 2)

TIPI DI VERIFICHE RICHIESTE

- a) Protection Against Plastic Collapse
- b) Protection Against Local Failure**
- c) Protection Against Collapse From Buckling
- d) Protection Against Failure From Cyclic Loading

La norma contempla la possibilità che, anche nel caso in cui la verifica a collasso plastico abbia dato esito positivo, in particolari zone della struttura (Es. intagli) si possano produrre deformazioni sufficienti a portare il materiale a rottura «localmente». Si tratterebbe, evidentemente, di una rottura duttile legata al superamento delle deformazioni ammissibili.



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

DESIGN BY ANALYSIS/3 (ASME VIII Div. 2)

Protection Against Local Failure

Elastic Stress Analysis

Se si è condotta un'analisi elastica per la verifica contro il collasso plastico, è necessario imporre la verifica della seguente relazione:

$$(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \leq 4 \cdot S$$

Tensioni principali locali
nel punto considerato



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

DESIGN BY ANALYSIS/3 (ASME VIII Div. 2)

Protection Against Local Failure

Elasto-Plastic Stress Analysis

Se si è condotta un'analisi elasto-plastica completa in grandi spostamenti per la verifica contro il collasso plastico, è necessario imporre la verifica della seguente relazione:

$$\varepsilon_{peq} + \varepsilon_{cf} \leq \varepsilon_L$$

Valore limite ammissibile
di deformazione plastica

Deformazione plastica
accumulata nel punto
considerato

Deformazione plastica
(eventualmente)
accumulata durante il
processo di formatura



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

DESIGN BY ANALYSIS/3 (ASME VIII Div. 2)

Protection Against Local Failure

Elasto-Plastic Stress Analysis

La deformazione limite ammissibile è data dalla seguente relazione, che tiene conto degli effetti della triassialità dello stato di tensione:

$$\varepsilon_L = \varepsilon_{Lu} \cdot e^{-\left(\frac{\alpha_{sl}}{1+m_2}\right) \left[\frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \frac{1}{3}}{3 \cdot \sigma_e} \right]}$$

Tensione idrostatica

Indice di triassialità dello stato di tensione

Tensione equivalente

Duttilità del materiale in condizioni monoassiali (prova di trazione)



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

DESIGN BY ANALYSIS/3 (ASME VIII Div. 2)

Protection Against Local Failure

Elasto-Plastic Stress Analysis

Il valore dei coefficienti m_2 , α_{st} e ε_{Lu} è dato dalla Tabella a lato

Table 5.7 – Uniaxial Strain Limit for use in Multiaxial Strain Limit Criterion

Material	Maximum Temperature	ε_{Lu} Uniaxial Strain Limit (1), (2), (3)			α_{st}
		m_2	Elongation Specified	Reduction of Area Specified	
Ferritic Steel	480°C (900°F)	$0.60(1.00 - R)$	$2 \cdot \ln \left[1 + \frac{E}{100} \right]$	$\ln \left[\frac{100}{100 - RA} \right]$	2.2
Stainless Steel and Nickel Base Alloys	480°C (900°F)	$0.75(1.00 - R)$	$3 \cdot \ln \left[1 + \frac{E}{100} \right]$	$\ln \left[\frac{100}{100 - RA} \right]$	0.6
Duplex Stainless Steel	480°C (900°F)	$0.70(0.95 - R)$	$2 \cdot \ln \left[1 + \frac{E}{100} \right]$	$\ln \left[\frac{100}{100 - RA} \right]$	2.2
Super Alloys (4)	480°C (900°F)	$1.90(0.93 - R)$	$\ln \left[1 + \frac{E}{100} \right]$	$\ln \left[\frac{100}{100 - RA} \right]$	2.2
Aluminum	120°C (250°F)	$0.52(0.98 - R)$	$1.3 \cdot \ln \left[1 + \frac{E}{100} \right]$	$\ln \left[\frac{100}{100 - RA} \right]$	2.2
Copper	65°C (150°F)	$0.50(1.00 - R)$	$2 \cdot \ln \left[1 + \frac{E}{100} \right]$	$\ln \left[\frac{100}{100 - RA} \right]$	2.2
Titanium and Zirconium	260°C (500°F)	$0.50(0.98 - R)$	$1.3 \cdot \ln \left[1 + \frac{E}{100} \right]$	$\ln \left[\frac{100}{100 - RA} \right]$	2.2

Notes:

1. If the elongation and reduction in area are not specified, then $\varepsilon_{Lu} = m_2$. If the elongation or reduction in area is specified, then ε_{Lu} is the maximum number computed from columns 3, 4 or 5, as applicable.
2. R is the ratio of the minimum specified yield strength divided by the minimum specified ultimate tensile strength.
3. E is the % elongation and RA is the % reduction in area determined from the applicable material specification.
4. Precipitation hardening austenitic alloys

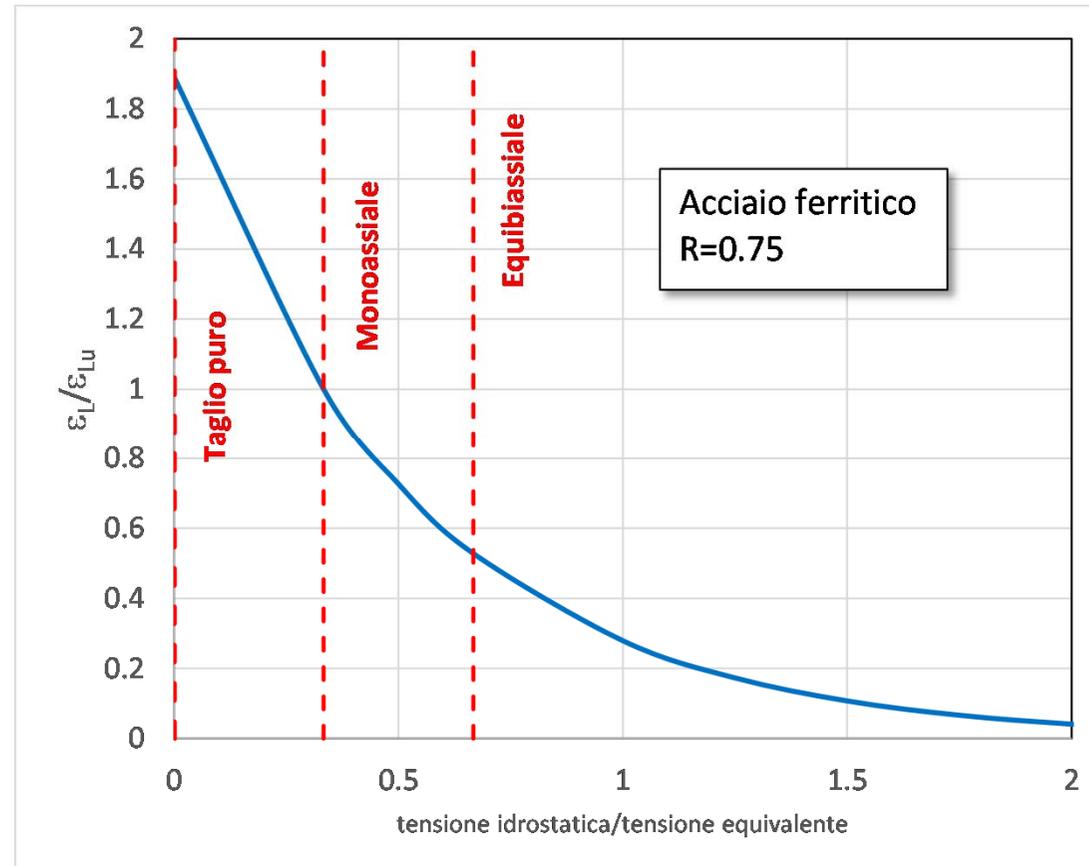


DESIGN BY ANALYSIS/3 (ASME VIII Div. 2)

Protection Against Local Failure

Elasto-Plastic Stress Analysis

Andamento della deformazione limite ammissibile in funzione dell'indice di triassialità dello stato di tensione:





Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Esercizio BPV-9

Nella zona circostante un bocchello, l'analisi elasto-plastica fornisce i seguenti valori dello stato di tensione e deformazione nella condizione di carico analizzata:

- $\sigma_{xx} = 180$ MPa
- $\sigma_{yy} = 162$ MPa
- $\sigma_{zz} = -42.75$ MPa
- $\sigma_{xy} = 18$ MPa
- $\sigma_{yz} = 13.5$ MPa
- $\sigma_{zx} = -9$ MPa
- $\epsilon_{pleq} = 0.18$ deformazione plastica equivalente accumulata

Il materiale è un acciaio ferritico avente le seguenti proprietà:

- $\sigma_y = 198$ MPa tensione di snervamento
- UTS = 405 MPa tensione di rottura
- $E_l = 18$ % allungamento a rottura

Il recipiente è un cilindro ottenuto per piegatura a freddo, avente la seguente geometria:

- $R_i = 1$ m raggio interno
- $t_c = 55$ mm spessore

Condurre la verifica contro la rottura locale.



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Esercizio BPV-9 - Svolgimento

$$\sigma_{xx} := 180 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{yy} := 0.9 \sigma_{xx} = 162 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{zz} := -0.125 \cdot (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) = -42.75 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{xy} := 0.1 \cdot \sigma_{xx} = 18 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{yz} := 0.75 \cdot \sigma_{xy} = 13.5 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{zx} := -0.5 \cdot (\sigma_{xy}) = -9 \cdot \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{pleq} := 0.18$$

$$E_1 := 18 \quad \sigma_y := 198 \cdot \text{MPa} \quad \text{UTS} := 405 \cdot \text{MPa}$$

$$R_i := 1 \cdot \text{m} \quad t_C := 55 \cdot \text{mm}$$

$$R_{mat} := \frac{\sigma_y}{\text{UTS}} = 0.489 \quad \text{Rapporto tra tensione di snervamento e rottura}$$

$$m_2 := 0.6 \cdot (1 - R_{mat}) = 0.307 \quad \varepsilon_E := 2 \cdot \ln \left(1 + \frac{E_1}{100} \right) = 0.331 \quad \alpha_{sl} := 2.2$$

Par. Tabella 5.7

$$\varepsilon_{Lu} := \max(m_2, \varepsilon_E) = 0.331$$

$$\sigma_{idr} := \frac{1}{3} \cdot (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) = 99.75 \cdot \text{MPa} \quad \text{Tensione idrostatica}$$

Tensione di Von Mises

$$\sigma_{eq} := \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6 \cdot (\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)} = 218.389 \cdot \text{MPa}$$

$$\varepsilon_L := \varepsilon_{Lu} \cdot e^{-\frac{\alpha_{sl}}{1+m_2} \left(\frac{\sigma_{idr}}{\sigma_{eq}} - \frac{1}{3} \right)} = 0.269 \quad \text{Deformazione ammissibile}$$

$$\varepsilon_{cf} := \frac{t_C}{\left(R_i + \frac{t_C}{2} \right) \cdot 2} = 0.027 \quad \text{Deformazione dovuta alla lavorazione a freddo}$$

VERIFICA

$$\varepsilon_{pleq} + \varepsilon_{cf} = 0.207 < \varepsilon_L = 0.269 \quad \text{OK}$$

Principali approcci al progetto

I recipienti in pressione per uso industriale hanno dimensioni molto variabili





Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/1

- La **Direttiva Apparecchi a Pressione** è una direttiva di prodotto (97/23/CE) emanata dalla Comunità Europea, e recepita in Italia con il Decreto Legislativo n° 93/2000.
- Disciplina la progettazione, la costruzione, l'equipaggiamento e l'installazione in sicurezza di **apparecchi in pressione**.
- Rientrano nel campo di applicabilità della direttiva ad esempio le tubazioni, le valvole idrauliche, e recipienti
- Non rientrano i dispositivi soggetti ad una pressione assoluta minore di 0,5 bar



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/2

Al recipiente viene assegnata una **Categoria di Rischio** sulla base di:

- pressione massima ammissibile (PS)
- dimensioni:
 - volume V nel caso di recipienti
 - diametro DN nel caso di tubazioni
- temperatura minima/massima ammissibile (TS)
- tipologia di fluido:
 - **fluidi di gruppo 1:** pericolosi
 - esplosivi
 - da estremamente infiammabili a infiammabili
 - da altamente tossici a tossici
 - comburenti
 - **fluidi di gruppo 2:** non pericolosi
 - tutti quelli che non rientrano nel gruppo 1.
- condizioni di esercizio e installazione



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/3

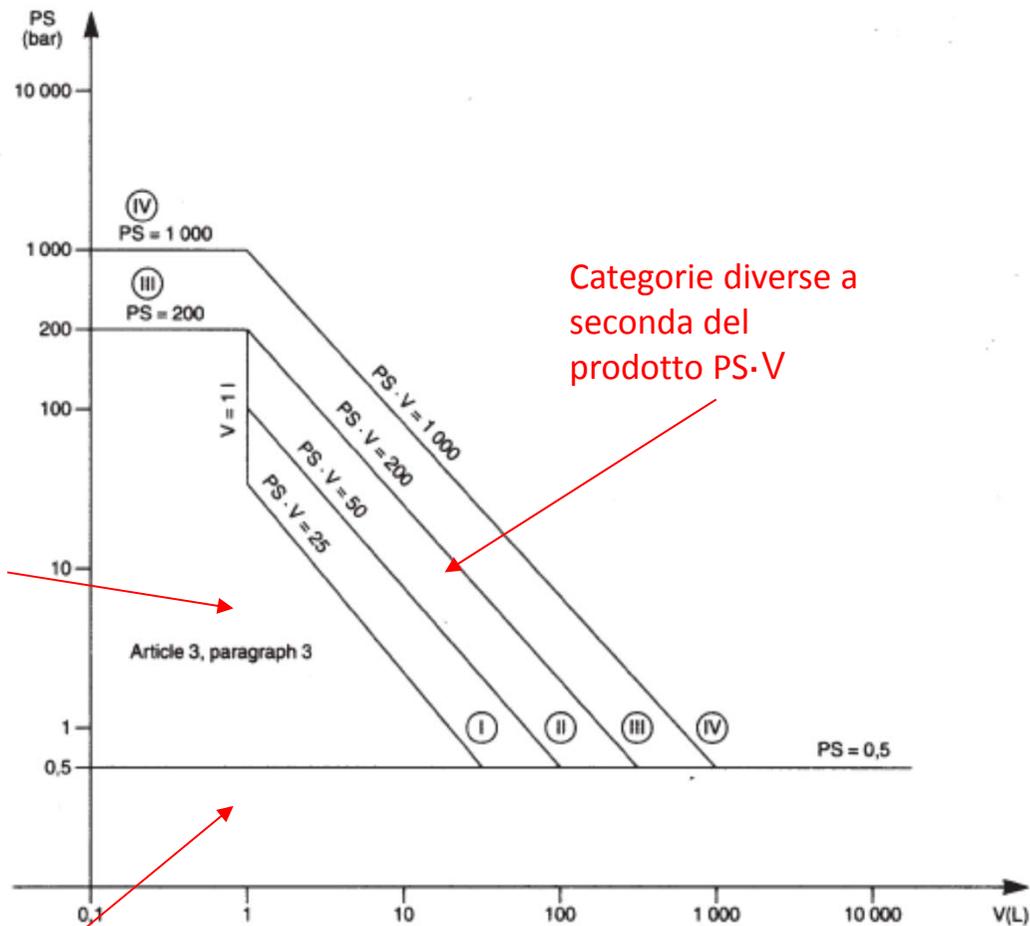
In base al tipo di fluido ed alla tipologia di attrezzatura (recipiente o tubazione), viene individuata una tabella/grafico da cui evincere la **Categoria di Rischio** :

Fluidi	Recipienti	Tubazioni
gas gruppo 1	tabella 1	tabella 6
gas gruppo 2	tabella 2	tabella 7
liquidi gruppo 1	tabella 3	tabella 8
liquidi gruppo 2	tabella 4	tabella 9



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/4 Gas tipo 1 (pericolosi)



Marchio CE
non richiesto

Categorie diverse a
seconda del
prodotto PS·V

Non contemplati
dalla PED

Table 1



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/5 Confornto tra gas tipo 1 (pericolosi, Table 1) e tipo 2 (non pericolosi, Table 2)

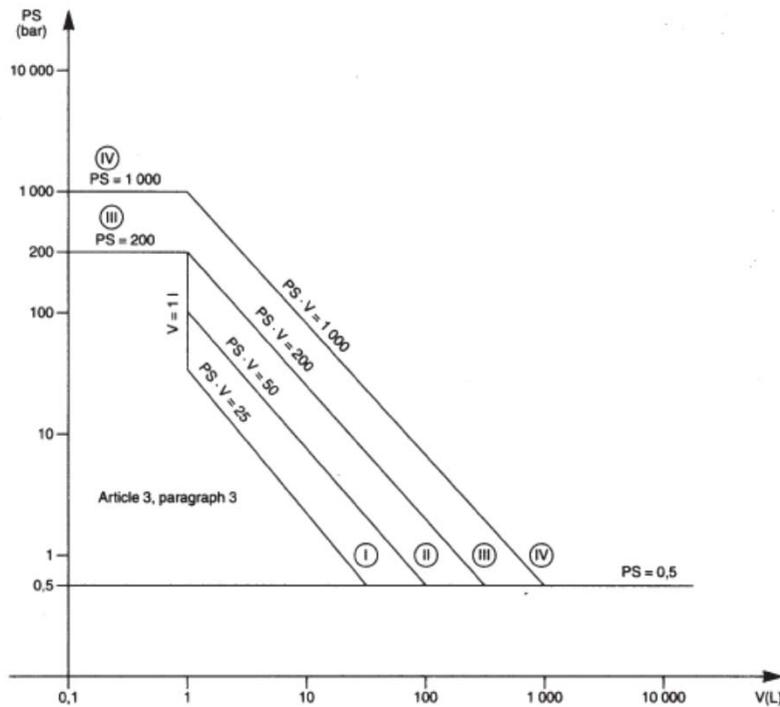


Table 1

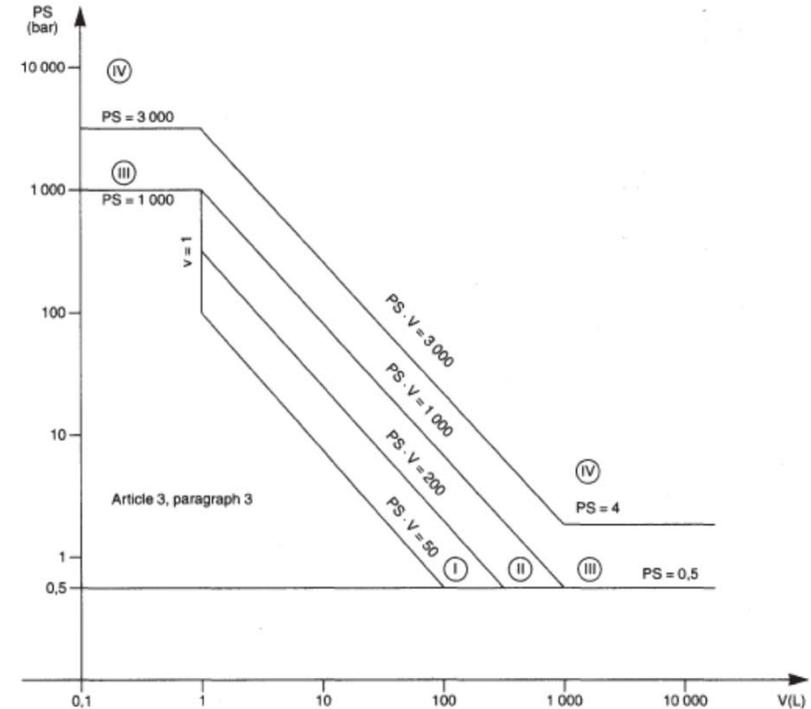
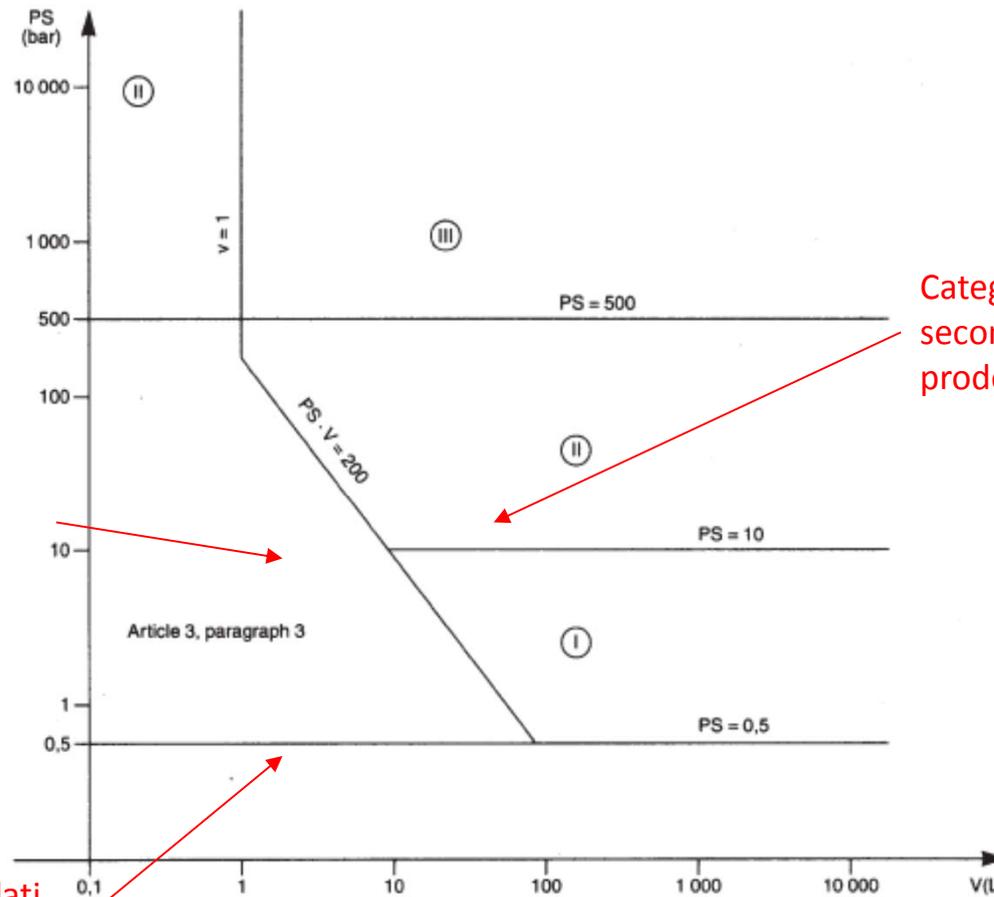


Table 2



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/6 Liquidi tipo 1 (pericolosi)



Marchio CE
non richiesto

Categorie diverse a
seconda del
prodotto PS·V

Non contemplati
dalla PED

Table 3



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/7 Confronto tra liquidi tipo 1 (pericolosi, Table 3) e tipo 2 (non pericolosi, Table 4)

Corso di "Costruzione di macchine"
Anno accademico 2015-6

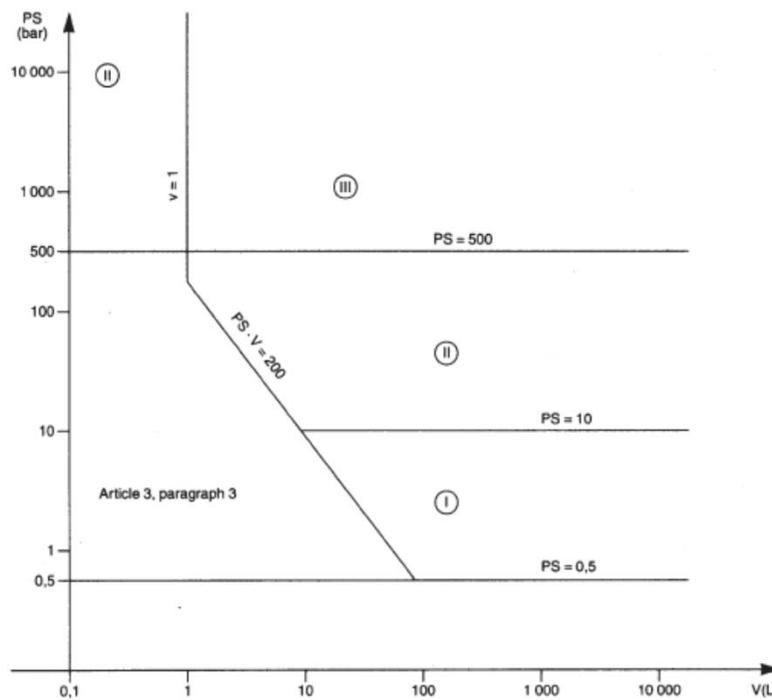


Table 3

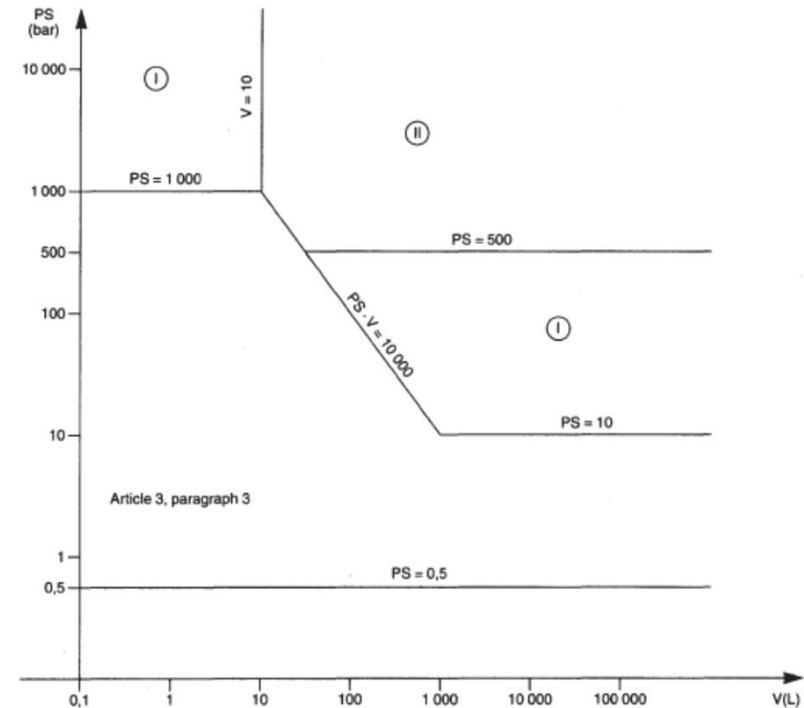


Table 4



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/8 Confronto tra gas (Table 1) e liquidi (Table 3) tipo 1 (pericolosi)

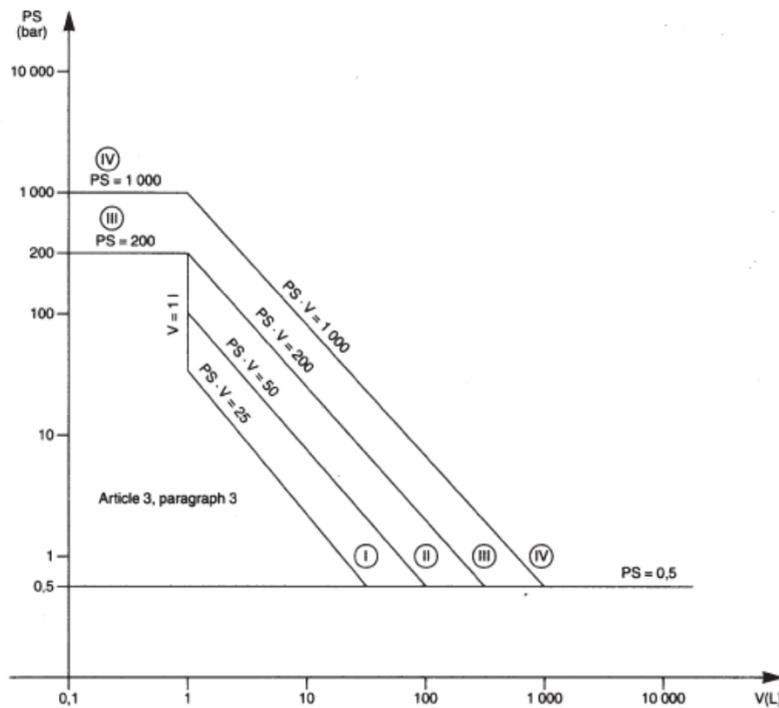


Table 1

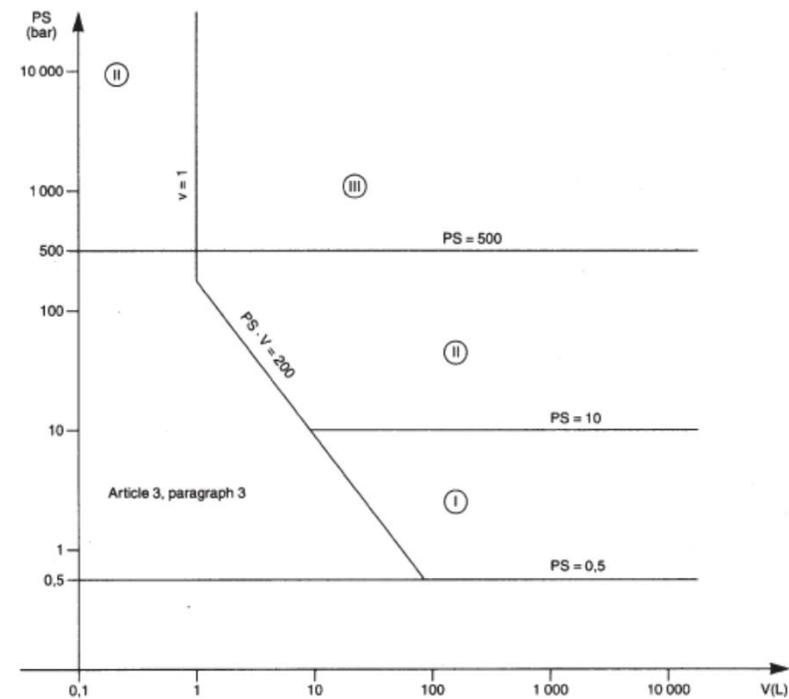


Table 3



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Direttiva PED («Pressure Equipment Directive»)/9

- La direttiva PED rimanda, per la progettazione e costruzione degli apparecchi a pressione, alle Norme Armonizzate (ad es. EN 13445); si intende che i requisiti di sicurezza della PED sono ritenuti soddisfatti se si ottempera ai requisiti di progettazione e costruzione della EN 13445.
- Categoria I: nella quale ricadono le apparecchiature meno pericolose, è prevista la certificazione CE in base ad «autocertificazione» del fabbricante.
- Categoria II: è obbligatoria la certificazione CE tramite un organismo notificato, che senza entrare nel merito della progettazione, provvede ad effettuare la sorveglianza della produzione, nelle modalità scelte dal fabbricante;
- Categoria III: è obbligatoria la certificazione CE tramite un organismo notificato. Qualora il fabbricante non avesse certificato anche il suo sistema qualità, inclusa la progettazione, è prevista anche l'esecuzione di prove approfondite sul prototipo da certificare CE;
- Categoria IV: si richiede il massimo livello di controllo della progettazione e della produzione.



Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Esempi di rotture/1

Esplosione per surriscaldamento (bombola di gas propano)

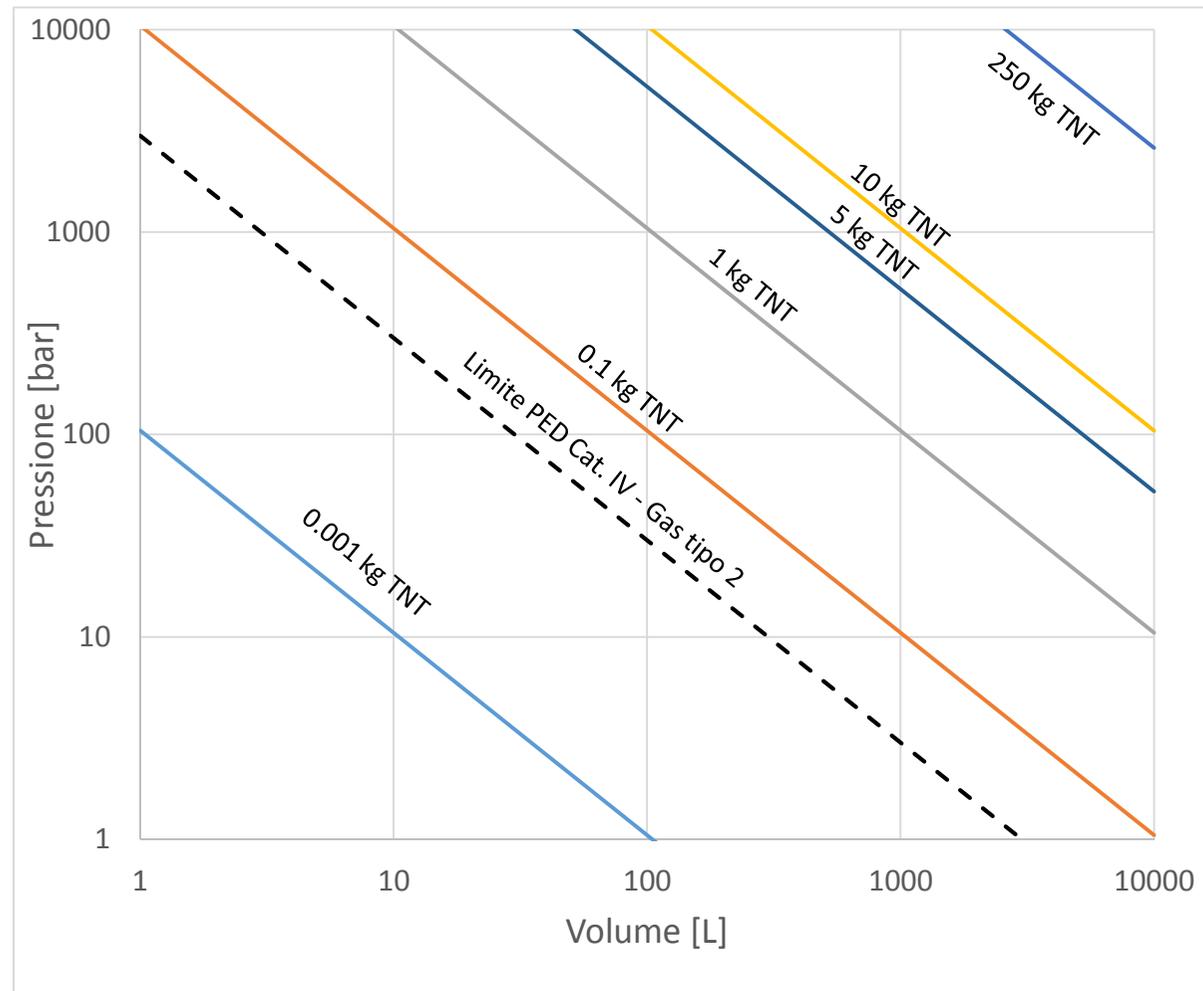




Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Esempi di rotture/2

L'energia rilasciata nell'esplosione di un recipiente può essere notevole:



Esempi di rotture/3

Frattura, generalmente dovuta a:

- Tenacità materiale insufficiente
- Tenso-corrosione
- Stati di autotensione
- Fratture preesistenti (da saldatura)
- Temperatura di prova troppo bassa
- Mancata o insufficiente manutenzione
- Errori di fabbricazione (Es. «peaked welds»)





Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Esempi di rotture/4 Cedimento per «buckling» assiale

«buckling»
assiale di
guscio sottile



«buckling»
da carichi
sismici





Lezioni su "Boiler and Pressure Vessel"

Esempi di rotture/5

Cedimento per «buckling» da pressione esterna

