



Metodologie di valutazione, di progetto e di verifica

***Criteri base di verifica e dimensionamento.
Ispezioni, Collaudi e Prove***

Ing. Pietro Ladisa

*Presidente Commissione meccanica industriale
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma*

Roma, 20 maggio 2025



Principali direttive europee e legislazione nazionale

Regolamento Macchine 2023/1230

Direttiva per le Atmosfere Esplosive (ATEX)
2014/34/UE (D.Lgs. 85/2016)

Direttiva Equipaggiamenti in Pressione (PED)
2014/68/UE (D.Lgs. 26/201)

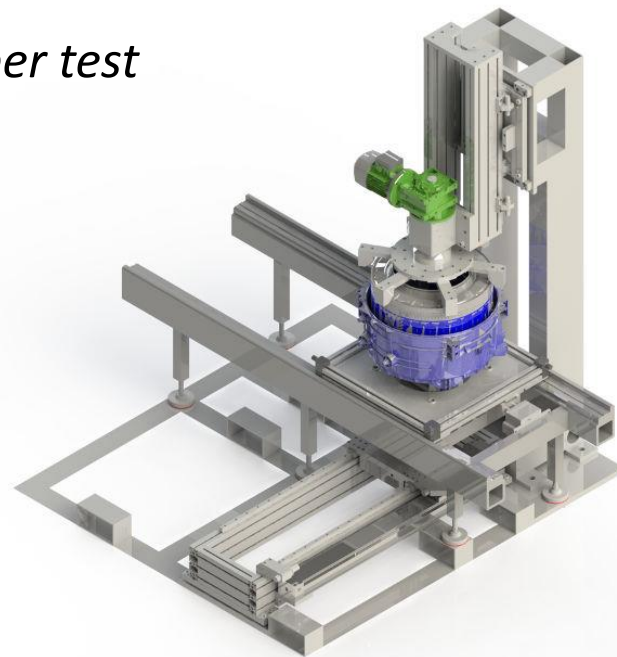
Requisiti minimi per sicurezza e salute per l'utilizzo di attrezzature da lavoro per i lavoratori
2009/104/CE

Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro
Dlgs 81/2008 (+ s.m.i.)



Progettazione e verifica strutturale per modellazione CAE, collaudi e test:

- *Applicazione di metodologie normate di carattere generale (Eurocodici 1, 3, 9, ecc.) in questo settore.*
- *Criteri di calcolo, individuazione dei carichi e loro combinazioni*
- *Collaudi e verifiche per test*





*REGOLAMENTO (UE) 2023/1230 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 14 giugno 2023
relativo alle macchine
ALLEGATO III*

1.3. Misure di protezione contro i rischi meccanici

1.3.1. Rischio di perdita di stabilità

La macchina o il prodotto correlato, elementi e attrezzature compresi, devono avere una stabilità tale da evitare il rovesciamento, la caduta o gli spostamenti non comandati durante il trasporto, il montaggio, lo smontaggio e tutte le altre azioni che interessano la macchina e il prodotto correlato.

...

1.3.2. Rischio di rottura durante il funzionamento

Gli elementi delle macchine o dei prodotti correlati, nonché i loro organi di collegamento, devono resistere agli sforzi cui devono essere sottoposti durante l'utilizzazione.

I materiali utilizzati devono presentare caratteristiche di resistenza sufficienti e adeguate all'ambiente di utilizzazione, previsto dal fabbricante, in particolare per quanto riguarda i fenomeni di fatica, invecchiamento, corrosione e abrasione.

...



Norma di tipo A - EN ISO 12100:2010 Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione del rischio e riduzione del rischio

6.2.3 Considerando le conoscenze tecniche generali sulla progettazione delle macchine

Tali conoscenze tecniche generali possono essere ricavate dalle specifiche tecniche di progettazione (norme, codici di progettazione, regole di calcolo, ecc.), che dovrebbero essere utilizzate per coprire

a) sollecitazioni meccaniche come

- la limitazione delle sollecitazioni mediante l'implementazione di metodi di calcolo, costruzione e, fissaggio corretti
- la limitazione delle sollecitazioni mediante la prevenzione del sovraccarico,
- la prevenzione dell'affaticamento negli elementi sottoposti a sollecitazioni variabili (in particolare sollecitazioni cicliche)
- il bilanciamento statico e dinamico degli elementi rotanti

b) i materiali e le loro proprietà come

- la resistenza alla corrosione, all'invecchiamento, all'abrasione e all'usura
- la durezza, la duttilità, la fragilità
- l'omogeneità
- la tossicità
- l'inflammabilità

c) i valori di emissione per il rumore.



Approccio alla progettazione meccanica a partire dall'analisi di rischio

Rischi strutturali:

- Risposta strutturale ai carichi nominali
- Risposta strutturale a carichi accidentali, sporadici, indesiderati
- Risposta strutturale alle combinazioni dei carichi, definite con criteri probabilistici
- Rischio strutturale da risposta elastica non adeguata: eccessivamente rigida o eccessivamente cedevole, effetti dinamici, ecc.
- Criteri di ridondanza e tolleranza alle rotture o cedimenti

Rischi da carichi ambientali indotti

Sisma, vento, ecc. Carichi specifici da valutare per applicazioni particolari come container di trasporto carichi indotti dal trasporto e dalle operazioni di trasbordo), ecc.

Rischi d'incendio: da valutare su componentistica impianto, in particolare per casi particolari riguardanti attrezzature esposte a irraggiamento elettromagnetico.

...



Quando, in una macchina, la risposta strutturale genera un qualunque rischio per la sicurezza?

➔ Eurocodici

1990 Eurocodice - Basi della progettazione strutturale

1991 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture

1993 Eurocodice 3 - Progettazione delle Strutture di acciaio

1999 Eurocodice 9 - Progettazione di strutture in alluminio

Caso per caso: Norme armonizzate di tipo C



Definizioni

Stato Limite Ultimo (ULS)

Lo stato ultimo è definito come la condizione nella quale la struttura di attrezzatura è in condizioni da non poter garantire la sicurezza: rottura, deformazioni plastiche, instabilità, propagazione della frattura, fenomeni di fatica ecc.

Stato Limite di Servizio (SLS)

Gli stati di servizio rappresentano le condizioni di carico nominali definite per il funzionamento previsto dell'attrezzatura. L'SLS è definito come il suo limite.

Fattori parziali di Sicurezza (γ)

I fattori di sicurezza parziali rappresentano i parametri di incertezza riferiti alla determinazione dei valori dei parametri di verifica (es. limiti del materiale, condizioni di carico, accelerazioni dinamiche, condizioni di costruzione, ecc.). I Loro valori predefiniti sono dati dalla normativa caso per caso, determinati da criteri statistici-probabilistici.



Definizioni

Margine di sicurezza (MoS)

Il Margine di Sicurezza rappresenta il margine effettivo rispetto agli ULS considerando tutte le possibili incertezze nella definizione dei parametri di progetto verifica, le quali sono determinate da fattori di sicurezza parziali.

NOTA: *Un valore negativo del MoS calcolato seguendo la normativa **implica un rischio concreto e non accettabile di collasso o cedimento strutturale.***

Carico Limite di Lavoro (WLL)

Il Carico Limite di Lavoro, usualmente indicato all'utilizzatore come massa massima caricabile, è il massimo carico utile per la quale le condizioni d'impiego considerate nel progetto, nella verifiche di collaudo e sicurezza, definite da questa Specifica, sono pienamente rispettate.

Fattore di utilizzo

Rapporto tra lo stato limite di servizio calcolato a valore nominale senza maggiorazioni dinamiche o carichi accidentali, e il carico limite strutturale. Il suo inverso viene chiamato impropriamente anche «safety factor».



Stato tensionale derivato dal carico applicato per l'ULS

$$\mathbf{U.L.S.:} \quad \vec{F_u} = \gamma_g \times \vec{G_o} + \gamma_p \vec{P} + \gamma_q [\vec{F_w} + \sum_i (\Psi_i \vec{Q_{ik}})]$$

F_u: Stato tensionale vettoriale derivato dall'applicazione dei carichi.

F_w: Carico applicato previsto nominalmente, inclusivo dei principali effetti dinamici

γ_q: Coefficiente di sicurezza per i carichi applicati F_w e Q_{ik}, normalmente pari a 1.5

γ_g: Coefficiente di sicurezza per i carichi di massa propria G_o, assunto usualmente pari a 1.5

γ_p: Coefficiente di sicurezza per i precarichi P:

γ_p = 1 se contribuisce alla sicurezza, γ_p = 1.2 se non favorisce la sicurezza

Q_{ik}: Carichi transitori dinamici, accidentali, valutati caso per caso, da normativa o specifiche.

Ψ_i: Fattore probabilistico di combinazione, valutato caso per caso, da normativa o specifiche.



Verifica ULS: calcolo del margine di sicurezza

Margine di Sicurezza: **MoS** = $SR^{-1} - 1 > 0$

Dove:

Stress Ratio: **SR** = $\gamma_m \times \sigma(F_u) / R [< 1]$

γ_m definito in funzione del materiale/sezioni/connessioni (classi di sezione, bulloni, saldature, etc.) in accordo agli Eurocodici.

R è pari al limite dato del materiale (limite deformazione lineare, snervamento, ecc.). Usualmente, per il limite a rottura si considera:

$$R = \text{MIN} (R_y, R_{p0.2}, 0.75 \times R_u)$$

$\sigma(F_u)$ la tensione ideale (o di Von Mises) massima in funzione dello stato tensionale F_u calcolato con l'ULS.

R per le saldature od altri casi particolari ha un suo valore specifico che va calcolato secondo la Normativa.

NOTA: *in fase di design, solitamente si fissa un valore minimo di MoS desiderato, dimensionando la struttura per ottenere tale valore, che di solito va dal 15% al 70%.*

Riferimenti normativi:

ENV 1993 - Eurocodice 3, Parte 1-1 Regole generali, Cap. 3: Materiali (acciai) - Cap. 6: connessioni

ENV 1999 - Eurocodice 9, Parte 1-1 Regole generali, Cap. 3: Materiali (leghe) - Cap. 6: connessioni

.



ULS: Valori dei coefficienti parziali di sicurezza per dispositivi meccanici

γ	SAFETY FACTORS	Value
γ_g	Permanent loads partial safety factor (tare mass load)	1.5 (min. 1.4)
γ_q	Applied loads partial safety factor	1.5
γ_p	Pre-load partial safety factor (to be defined case by case)	1 to 1.25
Sf(cab)	safety factor for metallic cables	5
Sf(synt)	safety factor for Synthetic ropes, slings	7
Sf(std)	Material p.s.f. for standard mechanisms and actuators	2.5 (typical)



ULS: Valori dei coefficienti parziali di sicurezza per i materiali, acciaio ed alluminio

Eurocode 3 Partial safety factors for steel applications	γ_M	value
Section classes 1 to 3	γ_{M0}	1.1
Section class 4	γ_{M1}	1.1
Net sections resistances	γ_{M2}	1.2
Bolts, screws, pins	γ_{Mb}, γ_{Mp}	1.35
Weldings - corner weldings	γ_{Mwc}	1.35
Friction unions verification	γ_{Ms}	1.25
Enlarged holes	γ_{Ms}	1.5
Fatigue diagrams (N/A for Ncycles < 10 ⁴)	See EC-3	

Eurocode 9 Partial safety factors for aluminium applications	γ_M	value
Section classes 1 to 3	γ_{M0}	1.1
Section class 4	γ_{M1}	1.1
Net sections resistances	γ_{M2}	1.25
Weldings - corner weldings (consider HAZ as defined in EC9 section 6.6 of part 1-1).	γ_{Mwc}	1.35
Friction unions verification	γ_{Ms}	1.25
Enlarged holes	γ_{Ms}	1.5
Fatigue diagrams (N/A for Ncycles < 10 ⁴)	See EC-9	



Stati Limite di Servizio (SLS)

Stati in cui viene valutata la prestazione della struttura **così com'è**, in termini di deformazioni o anche di distribuzione delle forze, le reazioni vincolari o anche prestazioni dinamiche come la risposta modale in frequenza o la risposta dinamica ad uno spettro o ad un impulso di forza nel tempo.

Alcune parti strutturali (ad esempio isolatori per vibrazioni) devono necessariamente essere soggetti a questo tipo di verifiche, essendo il loro progetto strettamente legato alla loro prestazione strutturale più che alla resistenza meccanica a Stato Limite Ultimo.

Nella formulazione dell'SLS non compaiono i coefficienti parziali di sicurezza:

$$\mathbf{S.L.S.:} \quad F_s = G_0 + P + F_w + \sum_i (\Psi_i Q_{ik})$$

Tale formulazione vale comunque per le prestazioni a carattere statico, per le valutazioni di risposta dinamica o modale, **i carichi vanno inseriti come masse inerziali** nei rispettivi punti baricentrici e possibilmente inserendo i valori dei momenti d'inerzia, se disponibili o valutabili.



esempi di casi e combinazioni di carico -1

ULS Carichi di movimentazione indoor (carrelli, posizionatori, bilancini, ecc.)

Carichi verticali (direzione di gravità):

$$F(v) = \gamma_q \times F_w + \gamma_g \times G_o = \gamma_q \times fd(v) \times \text{Massa Utile} + \gamma_g \times fd(v) \times \text{Tara}$$

Direzioni orizzontali:

$$F(L1) = \Psi1 \times fd(L) \times (\gamma_q \times \text{Massa Utile} + \gamma_g \times \text{Tara})$$

$$F(L2) = \Psi2 \times fd(L) \times (\gamma_q \times \text{Massa Utile} + \gamma_g \times \text{Tara})$$

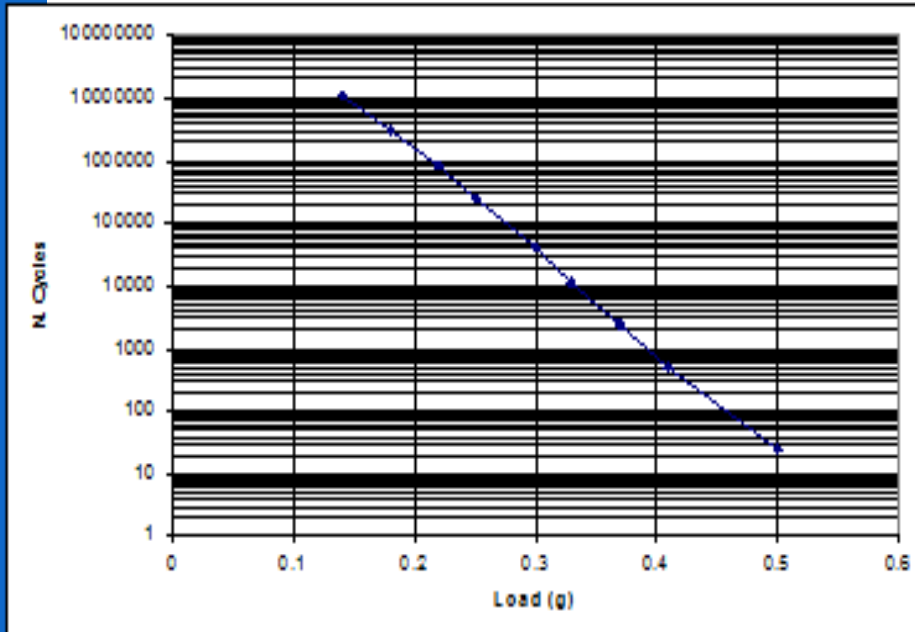
COMBINATION	$\Psi1$	$\Psi2$	fd(v)	Fd(L)
COMB01	1	0	1.2	0.25
COMB02	-1	0	1.2	0.25
COMB03	0	1	1.2	0.25
COMB04	0	-1	1.2	0.25
COMB05	0.7	0.7	1.2	0.25
COMB06	0.7	-0.7	1.2	0.25
COMB07	-0.7	0.7	1.2	0.25
COMB08	-0.7	-0.7	1.2	0.25

COMBINATION	$\Psi1$	$\Psi2$	fd(v)	Fd(L)
COMB09	1	0	0.8	0.25
COMB10	-1	0	0.8	0.25
COMB11	0	1	0.8	0.25
COMB12	0	-1	0.8	0.25
COMB13	0.7	0.7	0.8	0.25
COMB14	0.7	-0.7	0.8	0.25
COMB15	-0.7	0.7	0.8	0.25
COMB16	-0.7	-0.7	0.8	0.25

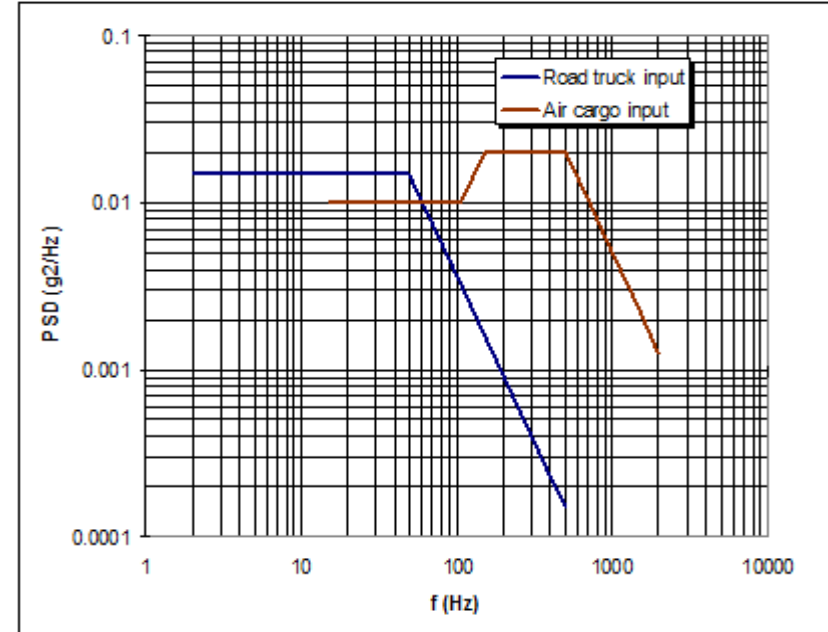


esempi di casi e combinazioni di carico -2

Carichi di trasporto



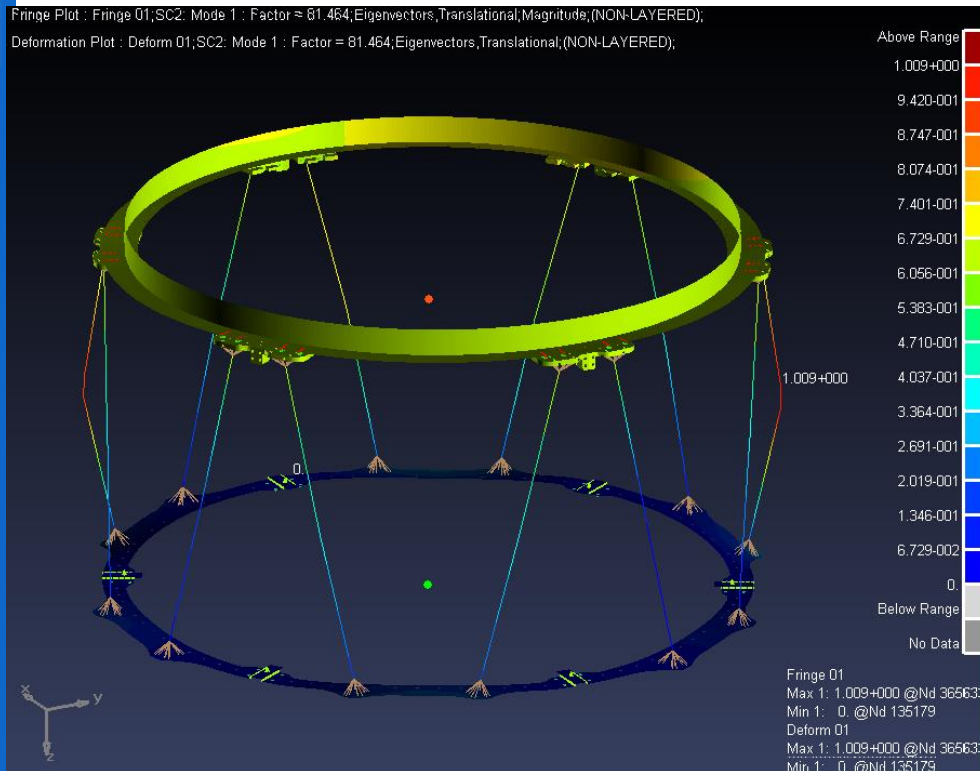
Accelerazioni cicliche di fatica per il design di contenitori riutilizzabili (da aggiungersi al carico costante di gravità 1g)



Densità spettrale di potenza delle accelerazioni di trasporto (verifica dell'isolamento dalle vibrazioni indotte)

Riferimento normativo:

MIL-STD-810 *Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*



Buckling

$$\text{Autovalori} = P_{cr} / F$$

La struttura è stabile per autovalori >1

Quanto più questo valore è maggiore di 1 tanto più la struttura è stabile nelle condizioni di carico date.

Salvo indicazioni da norme specifiche per settore, vanno applicate le indicazioni della normativa.

Nelle attrezzature comunque si considera come pienamente funzionale il solo comportamento elastico, per cui a progetto si considerano sicuri gli autovalori con valore >10, per analisi elastica.

REAL EIGENVALUES						
MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	RADIANS	CYCLES	GENERALIZED MASS	GENERALIZED STIFFNESS
1	1	8.146404E+01	9.025743E+00	1.436491E+00	3.203849E+01	2.609985E+03
2	2	8.607462E+01	9.277640E+00	1.476582E+00	4.930416E+01	4.243836E+03
3	3	8.858759E+01	9.412098E+00	1.497982E+00	3.531559E+01	3.128523E+03
4	4	9.995719E+01	9.997859E+00	1.591209E+00	4.347262E+01	4.345401E+03
5	5	1.026557E+02	1.013192E+01	1.612545E+00	2.456413E+01	2.521649E+03

1 NOVEMBER 3, 2014 MSC.NASTRAN 11/25/11 PAGE 28570



Coerenza del sistema di unità di misura

- **Obbligatoria** nelle analisi modali o dinamiche: di risposta in frequenza, time history, buckling, lineari o non lineari, ecc.
- Raccomandabile sempre

La coerenza di un sistema di unità di misura sta nella verifica dimensionale delle formule fondamentali della fisica, come il primo principio della dinamica: **$F = m a$** .

Utilizzando questa formula, se uso un modello in mm e adotto il kg come unità per la massa, le forze devono necessariamente essere date in mN (millinewton), o viceversa, se ho un modello in mm e ho immesso i dati di forza in N, devo per forza di cose immettere i dati di massa in T (tonnellate) e le densità in T/mm³ (tonnellate a millimetro cubo).

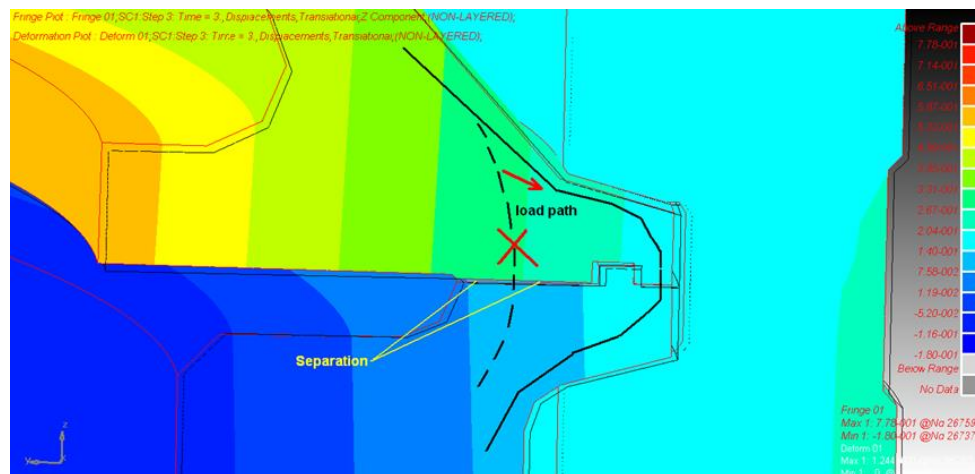
Se non uso un sistema coerente, i risultati delle analisi dinamiche sono SEMPRE SBAGLIATI!

In particolare il primo errore che salta all'occhio sono i valori sballati delle frequenze modali.

Se uso il SI senza multipli ovviamente la coerenza è garantita, ma non sempre questo è comodo. Ad esempio utilizzando un sistema coerente T-N-mm avrò sempre i risultati delle tensioni in MPa (Megapascal), devo comunque ricordarmi di immettere i dati di massa in T e di densità in T/mm³.

NOTA: Nei codici più utilizzati non c'è controllo automatico di coerenza delle unità in cui vengono immessi i dati, anche se in fase di pre-processing è possibile selezionare il sistema di unità di misura che si vuole utilizzare.

Il percorso di carico



Questione: *Sono state effettuate **tutte** le verifiche dei collegamenti **attraverso il percorso di carico**?
Il proprio modello di calcolo risponde fedelmente alla simulazione del corretto percorso di carico, dai punti di applicazione dei carichi fino ai nodi di vincolo esterno?*

Verificare sempre che lungo il percorso di carico le giunzioni siano state modellate con sufficiente similitudine alla condizione reale. Nel caso può rendersi necessario sviluppare un modello locale a parte della giunzione.

In questo può essere utile la modellizzazione del contatto ad attrito tra corpi deformabili (come in figura), o almeno calcolarla a mano.



CAD software	High Tech	Industriale	Parametrico	Costo	Note
CATIA	***	**	Sì	Elevato	Potente ma un po' complicato
Pro-engineer	**	***	Sì	Elevato	Poco intuitivo
SoliWorks	**	***	Sì	Elevato	Intuitivo e veloce
Inventor	**	***	Sì	Licenze low cost disponibili	Versatile ma complicato
Autocad (Mechanical)	*	***	No	Licenze low cost disponibili	Intuitivo e versatile
FreeCAD	-	**	Sì	Open Source	Discreto ma versatile

FEM Software	High Tech	Industriale	Contatto	Costo	Formazione	Note
ANSYS	***	***	Sì	Elevato	Necessaria	Elevata qualità ma poco intuitivo
Nastran (MSC-Hexagon, Nx)	***	**	Sì (MSC)	Elevato	Necessaria	Ottimo supporto tecnico (MSC)
MIDAS NFX	-	**	Sì	Medio	Consigliabile	Versatile, di buon livello qualità/prezzo
Straus7	-	**	No	Buono	Consigliabile	Elevato range di applicabilità, intuitivo
Code-Aster	*	**	Sì	Open Source	Necessaria	Richiede periodo di apprendimento
Calculix	*	**	Sì	Open Source	Consigliabile	Scarso software di pre-post processing

In generale, cercare sempre la doppia verifica al calcolo: FEM e manuale (dove possibile), oppure con due codici diversi. Non fidarsi **MAI** totalmente del risultato FEM!!!



CalculiX





Attrezzature in acciaio

Norma di riferimento: Eurocodice 3

Acciai da carpenteria di uso generale, di facile saldabilità per telai di supporto, basamenti: S235, S275, S355

Acciai Inox per usi in ambienti controllati, alimentare, marino, chimico:

- Austenitici
- Austenitici speciali contro la corrosione interstiziale (AISI serie L)
- Martensitici per elevate prestazioni strutturali

Acciai ad alta resistenza per organi di trasferimento del moto e applicazioni speciali: a indurimento per precipitazione, ecc.

Attrezzature in acciaio

Material Class	Code (most common)	Condition	E N/mm2	R ult. N/mm2	R y/p0.2 N/mm2
Stainless Steel Surface treatment: Passivation	AISI 304	Annealed	197000	500.0	190.0
	AISI 304L	Annealed	197000	460.0	180.0
	AISI 316	Soft tempered	193000	620	415
Special Stainless Steel	AISI 630, 17-4 PH	P930	197000	930.0	720.0
	AISI 630, 17-4 PH	P960	197000	960.0	790.0
	AISI 420	Hardened + 649°C Temper	200000	838	652.0
	AISI 420	Hardened + 538°C Temper	200000	1093	951.0
	PH 13-8 Mo (Custom 455)	Hardened + Temper	197000	1483	1379
Carbon steel - Zinc-based primer paint - Electrolytic golden zinc process	Fe 360, S235		200000	360	235
	Fe 430, S275		200000	430	275
	Fe 510, S 355		200000	510	355



Attrezzature in alluminio

Norma di riferimento: Eurocodice 9

Material Class	Code	Cond.	E	density	R ult.	R y/p0.2	Welding Rw N/mm2	
	EN-AW (AA)	Temper	N/mm2	Kg/m3	N/mm2	N/mm2	Fil: 5356	Fil: 4043A
Aluminum class 2000 for special light tools	2024	T351	73100	2780	450.0	280.0	-	-
	2024	T361	73100	2780	455.1	344.7	-	-
	2024	T861	73100	2780	482.6	441.3	-	-
Aluminum class 5000 for light welded structures	5052	H14/H34	70300	2680	230	170	170	-
	5083	H111	71000	2660	275	125	240	-
	5083	H32	71000	2660	300	190	240	-
Aluminum class 6000 for light frame structures	6060	T6	66600	2700	170	140	160	150
	6061	T6	68900	2700	310	276	190	170
	6082	T6	68900	2700	300	260	210	190
Aluminum class 7000 for special light tools	7010	T7651	71700	2820	503.3	434.4	-	-
	7010	T7451	71700	2820	496.4	427.5	-	-
	7020	T6	71700	2780	350	280	260	210
	7020	T651	71700	2780	350	280	260	210
	7050	T7351	71700	2830	496	434	-	-
	7050	T7651	71700	2830	552	490	-	-
	7050	T7451	71700	2830	524	469	-	-
	7075	T651	71700	2810	570	500	-	-
	7075	T7351	71700	2810	500	430	-	-

Verifica delle giunzioni saldate: Applicare il criterio della «Heat Affected Zone» (E.C.9)



Attrezzature in alluminio – Trattamenti superficiali

Elettrolita	Acido Cromico	Acido Solforico	Acido Ossalico
Tipo di soluzione acquosa	CrO ₃ , 2.5 – 3 %	H ₂ SO ₄ , 20%	(COOH) ₂ , 5 – 10%
Densità di corrente (A/dm ²)	0.1 - 0.5 (cc)	1 – 2 (cc)	1 – 2 (cc)
Voltaggio (V)	0 – 40	14 – 22	50 – 65
Temperatura (°C)	40	18 – 25	30
Tempo di trattamento (min)	20 – 50	10 – 60	10 – 30
Colore	Grigio opaco	Senza colorazione	Senza colorazione
Spessore del Film (µm)	2 – 15	5 – 35	15
Applicazioni	Protezione	Protezione	Protezione, decorativo
Caratteristiche		Molto duro	

Ossidazione anodica: elevata protezione alla corrosione, non conduttiva.

Colorazione per aggiunta di pigmenti

Passivazioni esenti da Cromo esavalente

Cromatazione dell'alluminio a mezzo di soluzioni cromatiche e l'ossidazione chimica dell'alluminio con soluzioni non cromatiche. La resistenza alla corrosione è funzione inversa del contenuto di ferro e rame.

La resistività elettrica media di un film di tipo giallo è sufficientemente bassa per l'uso di collegamenti-terra in molte applicazioni.

La conduttività dei film per correnti a frequenza radio è abbastanza alta, permettendo l'uso per guide d'onda e simili.

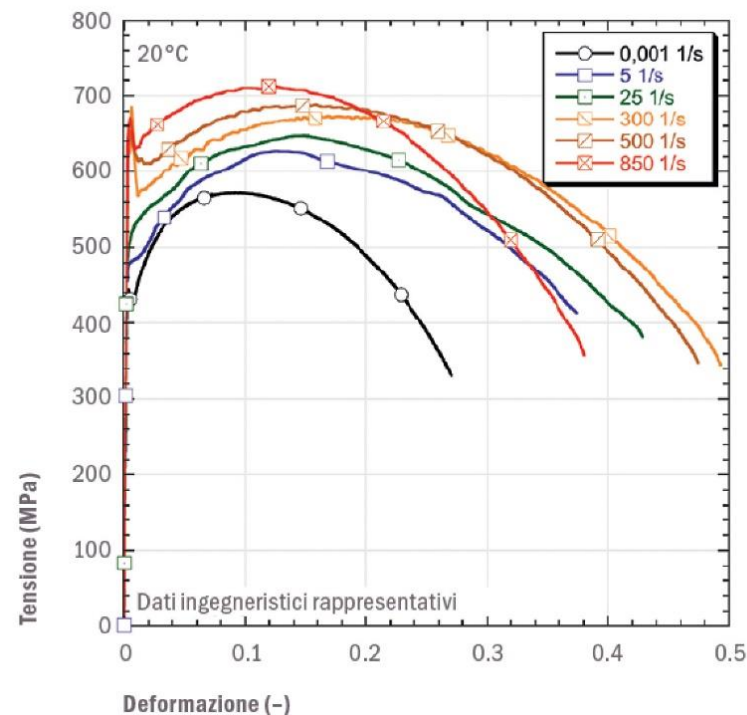
Questa capacità dei film cromatati su alluminio di resistere bene alla corrosione senza perdere apprezzabilmente di conduttività ha aperto ad essi molte strade nel campo dell'elettronica.

Rapporto tra perdita di linearità e carico di rottura

Nello stabilire il limite di carico del materiale, per gli acciai ad alta resistenza può capitare che il carico limite di linearità elastica e quello di rottura siano molto vicini. Questo aspetto induce di porre attenzione ai possibili aspetti di resilienza e comportamenti non lineari del materiale, che vengono fortemente limitati.

In tali casi può essere raccomandabile stabilire come carico limite strutturale del materiale:

$$R_m = \text{MIN} (R_y, R_{p0.2}, 0.7 \times R_u)$$





Metalli e leghe speciali

Material Class	Code	Cond.	E N/mm2	R ult. N/mm2	R y/p0.2 N/mm2	Density Kg/m3
Titanium						
<i>Ti Screws for Flight HW I/F</i>	Beta III	ST 775 °C Aged 550 °C	108000	1255.0	1180.0	5060
<i>Ti for Special High strenght/light applications</i>	Beta C	ST 815 °C Aged 565 °C	104000	1220.0	1120.0	4820
	Beta C	ST 815 °C Aged 510°C	104000	1240.0	1170.0	4820
	Beta C	ST 815°C, Aged 425°C	104000	1500.0	1420.0	4820
	Ti-15Mo-5Zr	Solution Treated 730°C	78000	960.0	920.0	5060
	Ti-6Al-2Sn-4Zr- 2Mo-0.1Si	Duplex Annealed	113800	1110.0	1050.0	4540
	Ti-4.5Al-5Mo- 1.5Cr	(Corona 5)	110000	1030.0	980.0	4540
Magnesium						
<i>Special test equipment For mechanical tests</i>	Az 31B	H24	45000	234.5	128.0	1770
	Az 61A	F	45000	275.0	152.0	1800
	Zk 60A	F	45000	296.5	213.7	1830
	AM100A	T6	45000	275	110	1830

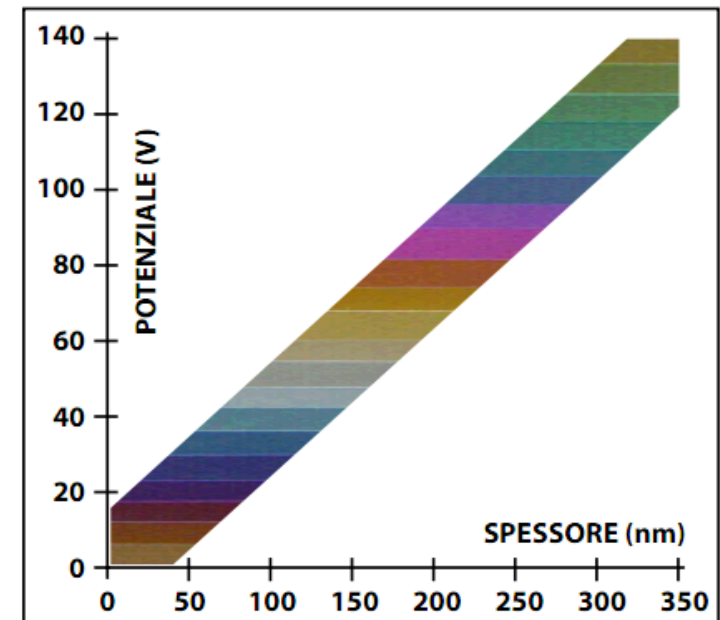


Anodizzazione del Titanio

L'anodizzazione del Titanio ha scopi protettivi ma anche un interessante aspetto estetico in quanto è possibile controllare la colorazione della superficie del titanio in funzione dei parametri del bagno elettrolitico.

La colorazione anodica del titanio è un processo che permette di ottenere diverse tonalità di colore senza utilizzare alcun tipo di vernice o pigmento garantendo in questo modo ottima biocompatibilità dei manufatti trattati.

Aumentando lo spessore del film di ossido, che dipende dal potenziale di anodizzazione, per un fenomeno di interferenza ottica dovuta alla diffrazione dei raggi luminosi che entrano nello strato di ossido, il titanio assume colori d'interferenza in funzione dello spessore dello strato.



Gioielleria in titanio

Materiali compositi

Le pelli sono solitamente costituite di materiale dall'elevata resistenza meccanica, che può essere un materiale composito in fibra di vetro, carbonio o kevlar, o anche di alluminio sottile o acciaio.

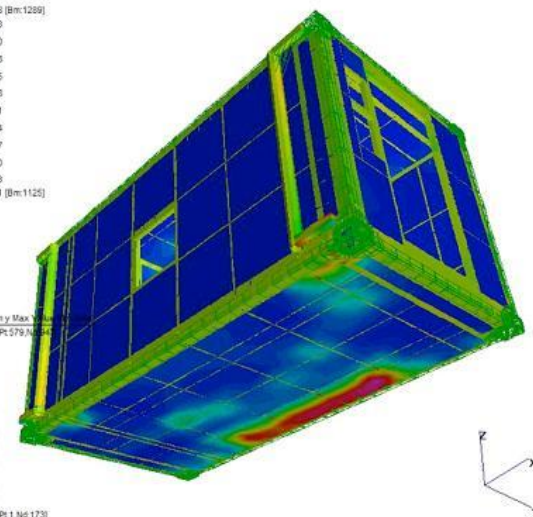
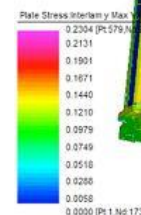
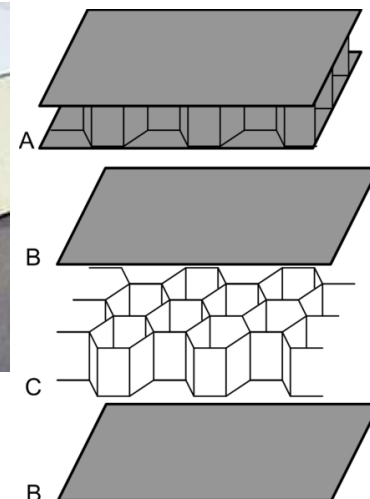
Per il core vengono impiegate strutture con celle a nido d'ape (honeycomb) oppure schiume o anche materiali riempitivi semplici come le gomme o plastica piena (per piccoli spessori). Si definiscono schiume quei materiali cellulari ottenuti mediante la dispersione di un gas in un materiale plastico solido.

Presentano ottime caratteristiche di isolamento termico e acustico, ottima capacità di smorzamento delle vibrazioni e resistenza agli urti.

L'adesivo è necessario per unire le pelli al core. Si utilizzano adesivi a film con caratteristiche molto simili a quelle delle resine che costituiscono le matrici nei materiali compositi, per cui è necessaria la polimerizzazione in autoclave. Esistono diverse formulazioni chimiche a seconda della natura dei materiali da unire (metallo-metallo, metallo-composito, composito-composito).

Nel calcolo strutturale: riveste particolare importanza il calcolo della tensione interlaminare che va poi confrontata con il limite di taglio dell'adesivo. Questo rappresenta il primo limite strutturale dei pannelli sandwich.

ATTENZIONE: per materiali *non isotropici*, fibre, ecc. **NON E' APPLICABILE il calcolo delle tensioni di Von Mises.**





Impianti e parti commerciali

L'adozione di particolari commerciali è molto importante per ottenere un progetto di carattere standard e modulare dai costi contenuti, oltre a ridurre l'onere di progetto anche in termini di tempo.

Per questi scopi è fondamentale che la scelta delle parti commerciali si basi sull'accurato studio della relativa documentazione tecnica e della loro rispondenza alla normativa armonizzata, oltre che alla loro specifica certificazione CE (RM, ATEX, PED, ecc.). *Usualmente, per parti certificate, viene fornito anche il grado di protezione IP agli agenti esterni.*

Nella modellazione occorre tener presente che non è necessario verificare la resistenza strutturale di parti già certificate per i carichi a cui la stiamo sottoponendo, ma in taluni casi è importante simularne la risposta strutturale nel percorso di carico, al fine di ottenere la giusta distribuzione dei carichi. Può tuttavia esserci difficoltà a reperire i dati strutturali sufficienti allo scopo.

Particolare attenzione dev'essere prestata ai dati di prestazione limite e al fattore di utilizzo dichiarato dal fornitore.





Prove di carico

Definizione secondo Eurocodici:

La prova di carico è una prova sulla struttura costruita. Cura particolare dev'essere prestata affinché la struttura non sia inutilmente danneggiata durante il test (non distruttivo). Questo richiede un monitoraggio continuo del carico e della risposta elastica.

Il test, la prova, con le adeguate misurazioni è considerato il metodo di verifica principe!

Una distinzione è fatta fra:

- Prova di accettazione
- Prova di stress



Si intende che la prova di accettazione confermi ciò che erano le intenzioni di progetto riguardo la prestazione strutturale. Il carico viene incrementato a valori tra il valore caratteristico funzionale ed il valore di progetto per le verifiche a stato limite ultimo. Requisiti possono essere definiti per le deformazioni, il grado di non linearità ed il residuo delle deformazioni dopo rimozione del carico di prova.



Fattore di prova: fattore moltiplicativo da applicare al carico massimo previsto (incluso di effetti accelerativi $f(v)$): $f_p = 1.1$ a 1.25

Carico di prova: carico da applicare riferito alla massa WLL del carico utile.

Per attrezzature in generale: $P = WLL \times f_p \times f(v) = 1.5 \times WLL$

Per dispositivi di presa del carico di sollevamento: $P = 2 \times WLL$
(da Norma armonizzata di tipo C: UNI EN 13155)

Misurazioni:

- Dinamometro o cella di carico: carico di prova applicato
- Comparatore: misura di spostamento complessivo in un punto
- Estensimetri: misura di deformazioni localizzate
- Fotogrammetria e tecniche laser: misura della deformata in vari punti (target) o sul suo complesso.



Trasporto e consegna

Da definire già in fase di richiesta d'offerta/committenza!

Stabilire i criteri di consegna:

- Attrezzatura smontata in più parti
- Attrezzatura «chiusa» (da «aprire» e rendere funzionale)
- Attrezzatura montata e funzionale
- Parti di ricambio

*Le modalità di montaggio, messa in funzione e manutenzione **devono** essere indicate nel manuale d'uso e manutenzione*

Documentazione a corredo:

- Manuale d'uso e manutenzione
- Certificati CE
- Scheda tecnica di sicurezza

Modalità di trasporto:

- Pallet – imballo monouso
- Pallet – contenitore riutilizzabile anche per immagazzinamenti



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Pietro Ladisa

pladisa61@gmail.com

<https://www.linkedin.com/in/ing-pietro-ladisa/>