



## **ARRL SEZIONE DI TORINO**

### **APPUNTI PER STRUTTURE DI SOSTEGNO DELLE ANTENNE**

**Flavio Crovella IK1TGV**

## **PREMESSA:**

Prima di affrontare l'argomento è opportuno ricordare

### **LE UNITA' DI MISURA FONDAMENTALI:**

Il Sistema Internazionale **S.I.** adotta il sistema fisico **M.K.S.** (metro, chilogrammo massa, secondo), si possono così unificare le varie misure, basti pensare al problema del sistema inglese (piedi, oncia ecc. ...)

**-LUNGHEZZA:** l'unità di misura è il **metro** che corrisponde circa a 1/3.600.000 della circonferenza terrestre,

Il simbolo del metro è: **m** (è errato scrivere m. oppure mt o ml)

**-MASSA:** l'unità di misura è il **chilogrammo** che corrisponde alla massa (ovvero quantità di materia) di un litro di acqua; da non confondere con il chilogrammo peso che è una forza!

Il simbolo del chilogrammo è: **kg** (è errato scrivere kg. oppure Kg o altro)

il sottomultiplo più usato è il **grammo**, il simbolo è **g**

**-TEMPO:** l'unità di misura è il **secondo** che corrisponde a 1/60 di minuto o 1/3600 dell'ora ecc.

Il simbolo del secondo è: **s** (è errato scrivere sec. o altro)

## I MULTIPLI e SOTTOMULTIPLI:

**E' molto semplice:**

il multiplo dieci si ottiene antepoendo **da** (deca) al simbolo: tutto minuscolo.

il multiplo cento si ottiene antepoendo **h** (etto) al simbolo: tutto minuscolo.

il multiplo mille si ottiene antepoendo **k** (chilo) al simbolo: tutto minuscolo.

il sottomultiplo decimo si ottiene antepoendo **d** (deci) al simbolo: tutto minuscolo.

il sottomultiplo centesimo si ottiene antepoendo **c** (centi) al simbolo: tutto minuscolo.

il sottomultiplo millesimo si ottiene antepoendo **m** (milli) al simbolo: tutto minuscolo.

Alcuni esempi: Decametro (dieci metri) = **dam**    Chilometro (mille metri) = **km**

Millimetro (1/1000 di metro) = **mm**

Ettogrammo (100 grammi) = **hg**

Millesimo di secondo = **ms**

## LE UNITÀ DI MISURA SUPERIORI E INFERIORI:

Il multiplo milione si ottiene anteponendo **M** (mega) al simbolo

Il multiplo miliardo si ottiene anteponendo **G** (giga) al simbolo

Il multiplo milione di milioni si ottiene anteponendo **T** (tera) al simbolo

Il sottomultiplo milionesimo si ottiene anteponendo **μ** (micro) al simbolo

Il sottomultiplo miliardesimo si ottiene anteponendo **n** (nano) al simbolo

Il sottomultiplo milionesimo di milionesimo si ottiene anteponendo **p** (pico) al simbolo

### **Notazioni scientifiche:**

per <b>da</b> (deca) si usa scrivere	$10^1$	ad es. 18 decagrammi = $1.8 \cdot 10^1$ g
per <b>k</b> (chilo) si usa scrivere	$10^3$	ad es. 2.15 chilometri = $2.15 \cdot 10^3$ m
per <b>M</b> (mega) si usa scrivere	$10^6$	ad esempio 5 tonnellate (5.000 kg) = $5 \cdot 10^9$ g
per <b>m</b> (milli) si usa scrivere	$10^{-3}$	ad esempio 3 millimetri = $3 \cdot 10^{-3}$ m
per <b>μ</b> (micro) si usa scrivere	$10^{-6}$	ad esempio 12 micrometri = $12 \cdot 10^{-6}$ m ecc.

## ALCUNE UNITA' DI MISURA DERIVATE:

**SUPERFICIE**: l'unità della superficie è il metro quadrato, il simbolo è  $m^2$  (è errato scrivere mq, anche se si usa spesso per comodità nei testi)

**VOLUME**: l'unità del volume è il metro cubo, il simbolo è  $m^3$  (è errato scrivere mc, anche se si usa spesso per comodità nei testi)

**VELOCITA'**: l'unità della velocità è il metro al secondo, il simbolo è  $m/s$  (non è molto corretto definire la velocità in km/ora)

**ACCELERAZIONE**: l'unità dell'accelerazione è il metro al secondo<sup>2</sup>, il simbolo è  $m/s^2$  (metri al secondo al quadrato)

L'accelerazione di gravità terrestre, ovvero l'accelerazione a cui è sottoposto un corpo in caduta nel vuoto sulla terra vale circa  $9.81 m/s^2$ : il valore non è costante, è un po' superiore ai poli e un po' minore all'equatore, infatti all'equatore all'accelerazione di gravità occorre sottrarre l'accelerazione centrifuga che ai poli è nulla.

**FORZA**: l'unità di forza è il Newton.      Il simbolo è **N**      La forza di 1 N imprime ad una massa di 1 kg l'accelerazione di  $1 \text{ m/s}^2$

**LAVORO**: l'unità di forza è il Joule.      Il simbolo è **J**      La forza di 1 N che applicata a 1 kg produce lo spostamento di un m, compie il lavoro di 1 J

**POTENZA**: l'unità di forza è il Watt.      Il simbolo è **W**      Il lavoro di 1 J compiuto nel tempo di 1 s ha la potenza di 1 W

**PRESSIONE**: l'unità della pressione è il Pascal, il simbolo è **Pa** (vale 1 N al  $\text{m}^2$ , quindi un valore molto basso, per ciò si usa spesso il MPa, cioè 1 milione di Pascal), si usa ancora come unità pratica il  $\text{daN/cm}^2$  (circa  $1 \text{ kg/cm}^2$ );

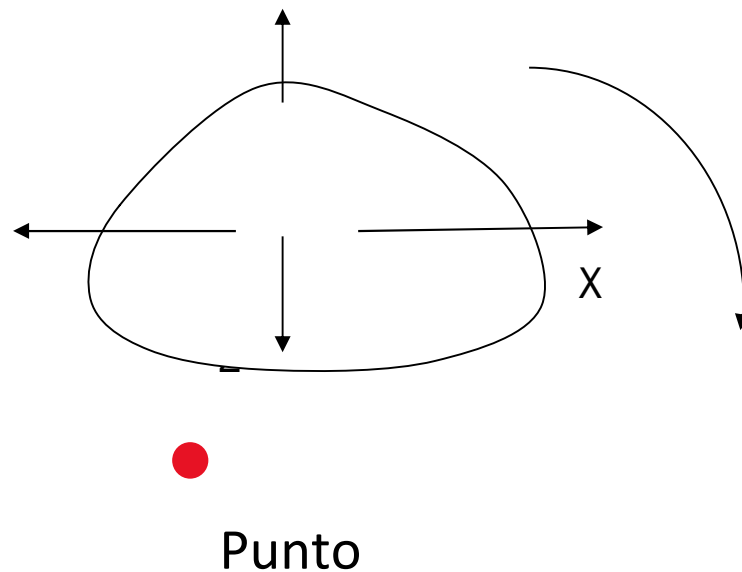
$1 \text{ MPa} = 10 \text{ daN/cm}^2$  circa

$1 \text{ daN/cm}^2 = 0.1 \text{ MPa}$  circa

L'unità di pressione è usata anche per le tensioni (vedi più avanti)

## ANALISI STATICA

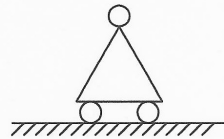
Un corpo, se non è vincolato ad un sistema ritenuto fisso, può muoversi nello spazio in varie direzioni; per semplicità ci limiteremo ad analizzare il comportamento di un corpo su un piano: il corpo potrà dunque muoversi in una direzione orizzontale (asse X), in una direzione verticale (asse Z) e potrà ruotare ad esempio attorno ad un punto.



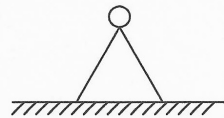


## I VINCOLI

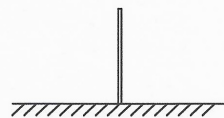
Per impedire gli spostamenti dovremo “vincolare” il corpo ad un sistema che assumiamo come fisso, ad esempio alla terra, al muro di una casa, alla carrozzeria di un’automobile ecc. I principali vincoli sono:



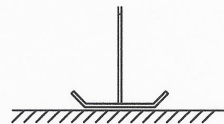
CARRELLO CON CERNIERA:  
IMPEDISCE SOLO GLI SPOSTAMENTI VERTICALI  
CONSENTE GLI SPOSTAMENTI ORIZZONTALI E LA ROTAZIONE



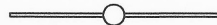
CERNIERA FISSA  
IMPEDISCE GLI SPOSTAMENTI VERTICALI E ORIZZONTALI  
CONSENTE LA ROTAZIONE



INCASTRO  
IMPEDISCE TUTTI GLI SPOSTAMENTI VERTICALI E ORIZZONTALI  
E LA ROTAZIONE



SLITTA  
IMPEDISCE GLI SPOSTAMENTI VERTICALI E LA ROTAZIONE  
CONSENTE GLI SPOSTAMENTI ORIZZONTALI



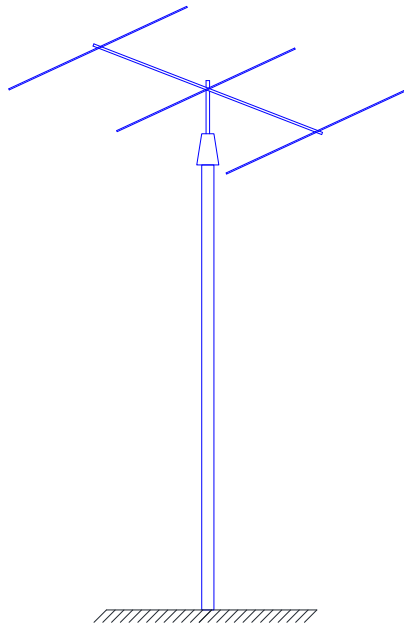
CERNIERA INTERNA  
CONSENTE LA ROTAZIONE INTERNA

Si presentano tre casi:

- 1) Se i vincoli non sono sufficienti ad impedire tutti gli spostamenti si dice che il sistema è **LABILE**
- 2) Se i vincoli sono sufficienti ad impedire una sola volta ogni singolo spostamento si dice che il sistema è **ISOSTATICO**
- 3) Se i vincoli impediscono più di una volta gli spostamenti si dice che il sistema è **IPERSTATICO**

I sistemi IPERSTATICI presentano alcuni vantaggi per quanto riguarda la stabilità del sistema ma le strutture sono un poco più complesse da calcolare.

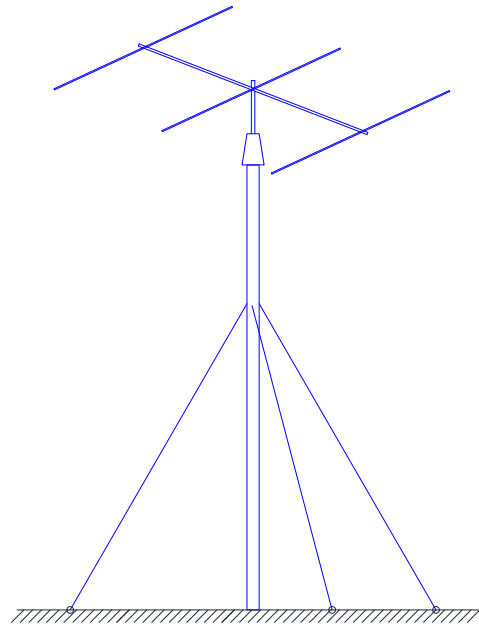
## SCHEMI DEI CASI PIU' COMUNI DEI SOSTEGNI DELLE ANTENNE:



PALO SEMPLICE INCASTRATO

ALLA BASE

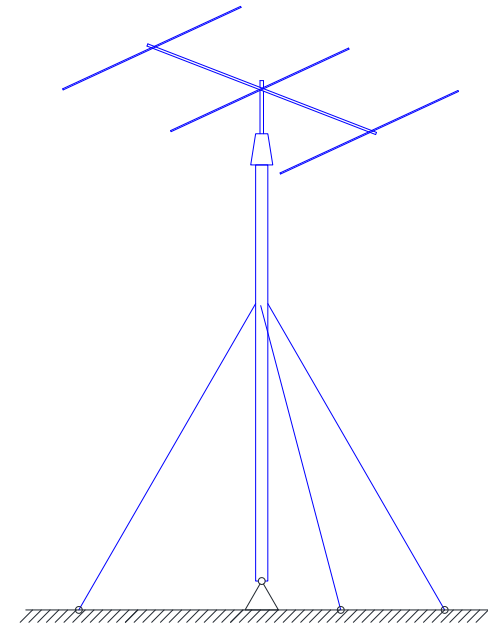
Isostatico



INCASTRATO ALLA BASE

INCASTRATO ALLA BASE

Iperstatico



PALO STRALLATO (CON TIRANTI)

INCERNIERATO ALLA BASE

Isostatico

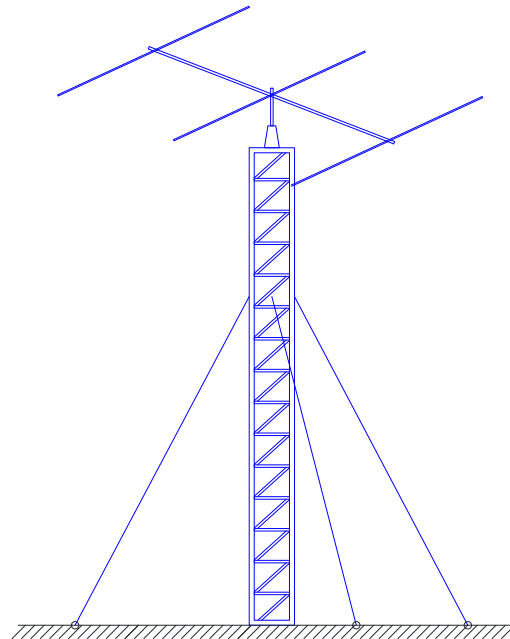
TRALICCIO

CON O SENZA STRALLI

INCERNIERATO O INCASTRATO ALLA BASE

**SULLA STRUTTURA AGISCONO VARIE FORZE:**

- **IL PESO PROPRIO**
- **L'ANTENNA**
- **IL ROTORE**
- **IL VENTO**
- **LA NEVE**
- **LE AZIONI SISMICHE (TRASCURABILI NEL NOSTRO CASO)**

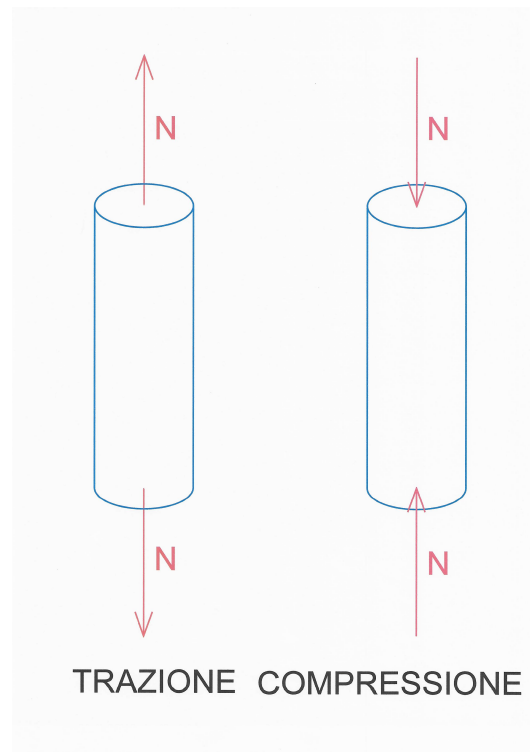


## LE SOLLECITAZIONI:

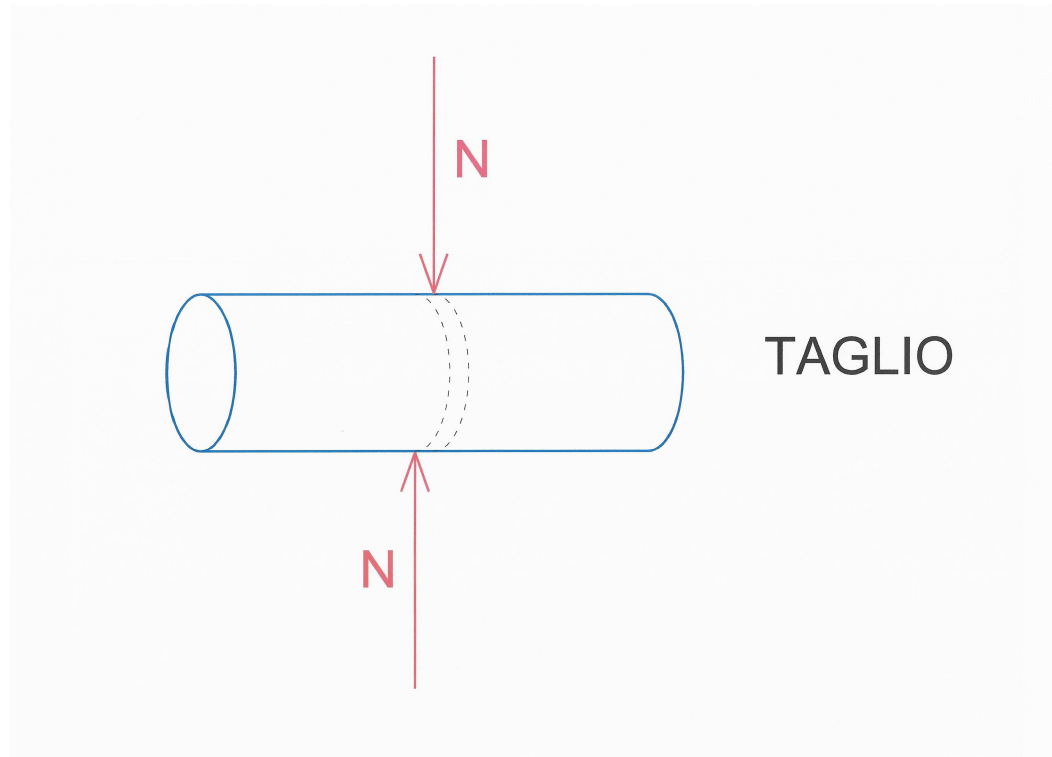
Il peso proprio e le forze esterne o altri fattori inducono sulla struttura delle **SOLLECITAZIONI**;

queste sono 3:

- 1 Forza normale di **COMPRESSIONE** o di **TRAZIONE** espressa in **N** (o **daN** per comodità)

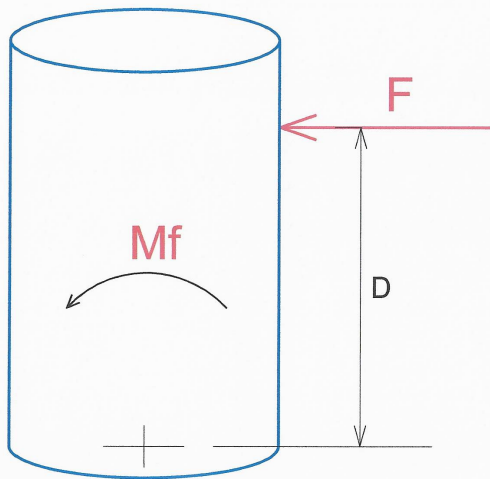


2 Forza Tagliante o **TAGLIO** espressa in **N**  
(o **daN** per comodità)

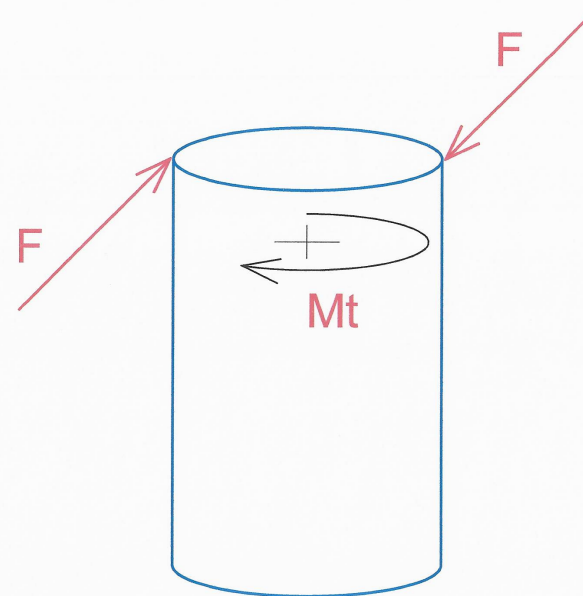


3 Momento Flettente e Momento Torcente espressi di N x m  
(o daN x m per comodità)

MOMENTO FLETTENTE



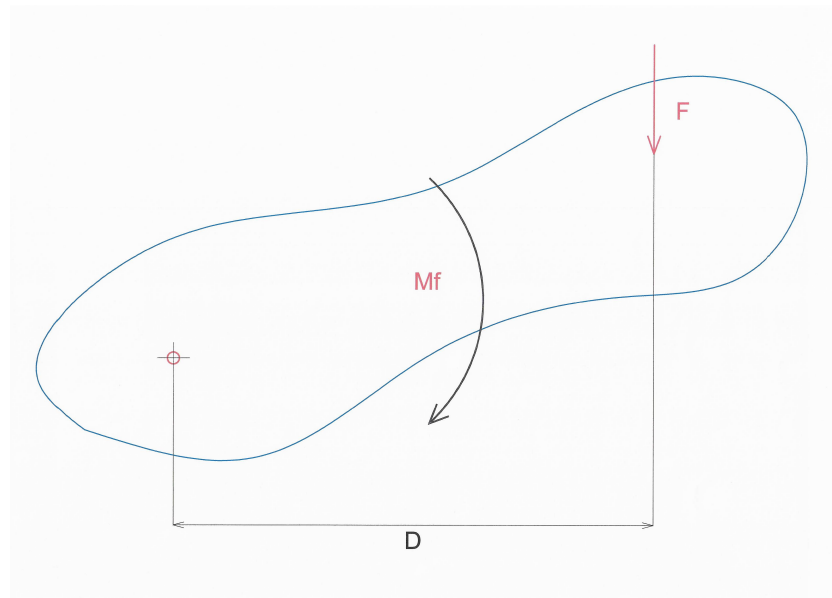
MOMENTO TORCENTE



## MOMENTO FLETTENTE:

Una forza che agisce su un corpo rigido produce rispetto a un punto P un “Momento Flettente” che è il prodotto della Forza per la distanza perpendicolare alla direzione della forza stessa.

L'unità di misura è il Newton per metro  $N \times m$  ma si usa anche  $daN \times m$  e  $daN \times cm$



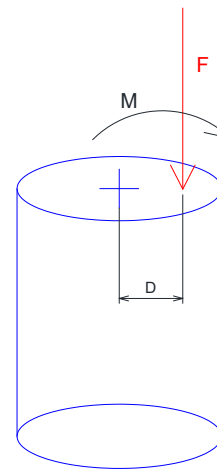
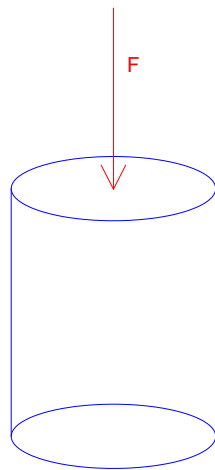


## FORZA DI COMPRESSIONE O DI TRAZIONE:

Trazione



Compressione



Forza “normale”: agisce sul baricentro

Forza “eccentrica”: produce anche un momento

## LE TENSIONI:

Le **sollecitazioni** inducono nel materiale delle **tensioni**: occorre che la **tensione massima** sia inferiore a quella che può sopportare il materiale. Per le verifiche bisogna subito precisare che esistono 2 metodi:

- La verifica alle **tensioni ammissibili** (metodo adottato in passato, ancora ammesso dalla normativa in pochi casi)
- La verifica allo **stato limite ultimo** (metodo previsto dalla normativa vigente)

La verifica alle **tensioni ammissibili** prevede di individuare la sezione presumibilmente più sollecitata, calcolare le tensioni indotte e controllare che queste siano inferiori alla massima tensione ammissibile in quella sezione.

La verifica allo **stato limite ultimo** prevede di calcolare in un elevato numero di sezioni la tensione che queste possono sopportare (al netto del coefficiente di sicurezza) e che in ogni sezione si verifichi che la tensione indotta sia inferiore a quella limite.

## Le tensioni nel materiale sono indotte dalle sollecitazioni:

- **La Compressione e la Trazione** inducono una tensione  $\sigma_n$  (Sigma normale) che vale  $F/A$  dove  $F$  è la forza agente espressa in **N** ed  $A$  è la sezione espressa in  $m^2$ ; l'unità di misura è quindi il **Pascal** ma spesso si usa il **daN/cm<sup>2</sup>**
- **Il Taglio** induce una tensione  $T$  (Tau) che vale  $F/S$  dove  $F$  è la forza agente espressa in **N** ed  $S$  è la sezione espressa in  $m^2$ ; l'unità di misura usata è il **N/m<sup>2</sup>** oppure **daN/cm<sup>2</sup>**
- **Il Momento flettente** induce una tensione  $\sigma_f$  (Sigma flessione) che dipende dalle caratteristiche geometriche della sezione.

## Le caratteristiche geometriche sono:

- **La Sezione S** definita in  $m^2$  anche se spesso si usa il **cm<sup>2</sup>**
- **Il Momento di inerzia J** in **cm<sup>4</sup>**
- **Il Momento di resistenza W** in **cm<sup>3</sup>**

Il Momento di inerzia  $J$  e il momento di resistenza  $W$  si possono calcolare, ma per le sezioni commerciali se ne possono trovare i valori su apposite tabelle.

Per ottenere il valore della  $\sigma_f$  occorre dividere il valore del  $M_f$  per il Momento di resistenza  $W$

$$M_f / W \quad (\text{daN} \times \text{cm} / \text{cm}^3 = \text{daN/cm}^2)$$

La tensione totale (detta **tensione ideale**) vale:

$$\sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_f^2 + 3 \tau^2} \quad (\text{daN/cm}^2)$$

Radice quadrata di  $\sigma_n^2 + \sigma_f^2 + 3 \times \tau^2$

## Le sigle degli acciai in commercio e le tensioni di calcolo

### CLASSIFICAZIONE ACCIAI DA COSTRUZIONE

Vecchia denominazione	Denominazione UNI EN (attuale)	Tensione di Calcolo daN/cm <sup>2</sup>
Fe320	S185	1200
Fe360	S235	1600
Fe430	S275	1900
Fe510	S355	2400

**L'alluminio** si trova in numerose leghe per cui varia molto la sua resistenza, elasticità ecc. In generale si può considerare una resistenza di calcolo di circa **1000 daN/cm<sup>2</sup>**

Il modulo elastico dell'alluminio vale circa **700.000 daN/cm<sup>2</sup>** contro **2.100.000 daN/cm<sup>2</sup>** dell'acciaio.

# LE PRINCIPALI FORZE CHE AGISCONO SU UNA STRUTTURA PER ANTENNA

Bisogna distinguere tra carichi permanenti e carichi accidentali.

## CARICHI PERMANENTI:

- Peso proprio della struttura
- Carichi portati (antenna, rotore, accessori ecc.)

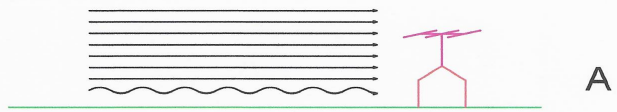
## CARICHI ACCIDENTALI:

- Vento
- Neve
- Forze inerziali dovute alla rotazione dell'antenna
- Azioni sismiche (nel caso di un sostegno di antenna sono trascurabili, a meno che non si tratti di un grande traliccio)

# IL VENTO

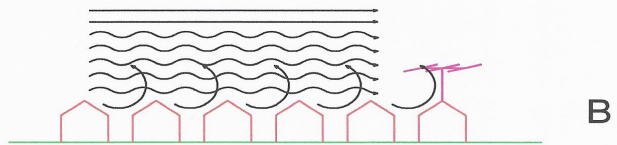
La pressione del vento dipende da diversi fattori:

- Località ove si trova la struttura
- Altezza dal suolo
- Eventuali ostacoli presenti nelle vicinanze (“rugosità” del terreno dovuta a alberi, edifici ecc.)
- Superficie esposta al vento
- Forma degli elementi (sezione)
- Eventuale presenza di fori o cavità



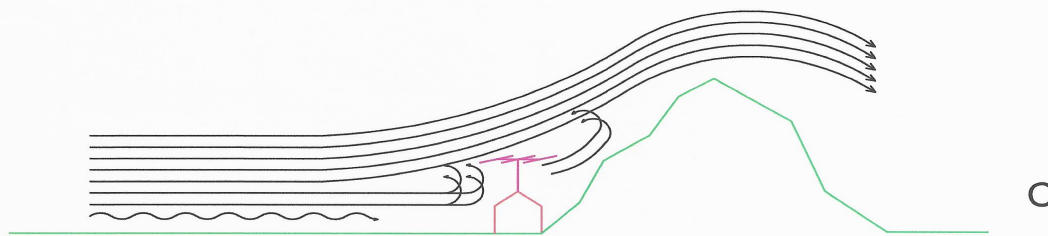
A

VENTO IN PIANURA



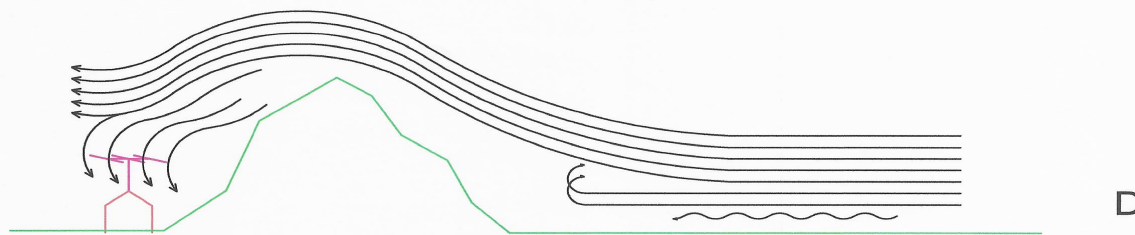
B

VENTO IN CENTRO URBANO



C

VENTO DAVANTI AD UN OSTACOLO

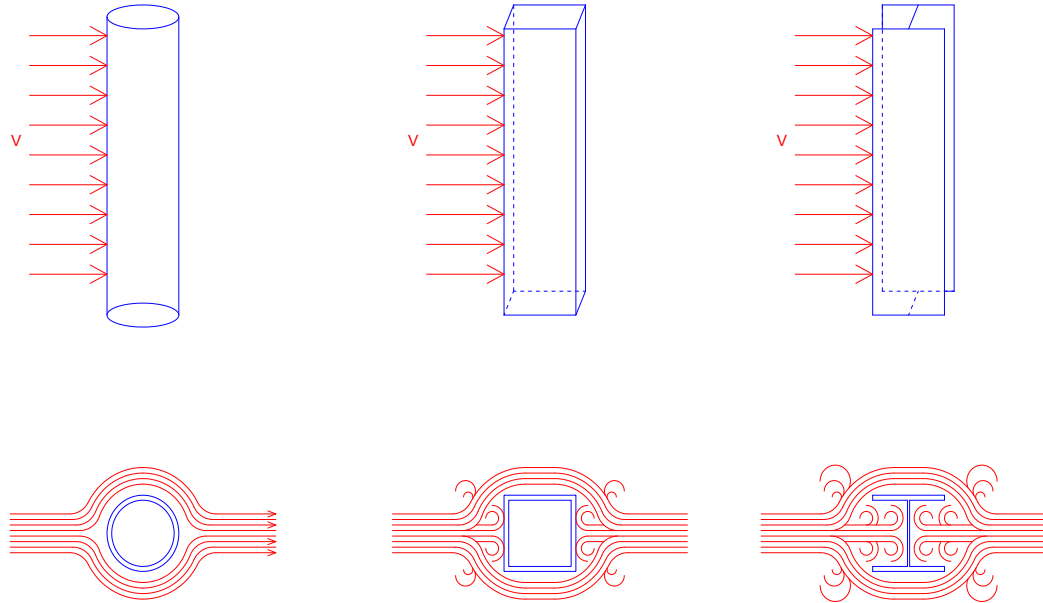


D

VENTO DIETRO AD OSTACOLO



# Schemi delle turbolenze del flusso del vento in funzione delle sezioni



Per quanto riguarda il sito, esistono delle tabelle che forniscono per ogni località d'Italia la velocità di riferimento del vento  **$V_{ref}$  (m/s)**, si calcola poi la pressione sopravento e la depressione sottovento.

Normalmente la depressione sottovento è la metà della pressione sopravento.

La presenza di fori o cavità, l'altezza dal suolo implicano dei coefficienti di maggiorazione della spinta del vento, la presenza di altri edifici o di alberi diffusi ad alto fusto implica un coefficiente di diminuzione della spinta del vento.

Il calcolo della superficie esposta al vento è semplice, ad esempio per un tubo rotondo basta moltiplicare il diametro per la lunghezza del tubo (prestare attenzione alle unità di misura che devono essere congrue)

La forma della sezione è molto importante, infatti determina il coefficiente aerodinamico  **$C_d$** : per calcolarlo si deve determinare il **NUMERO DI REYNOLD**

$$Re = V \times D / \nu$$

**Dove:**  **$V$**  = velocità del fluido (m/s)

**$D$**  = diametro o larghezza del palo

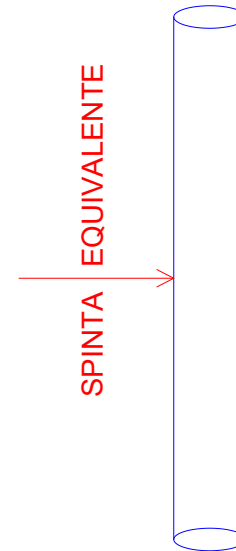
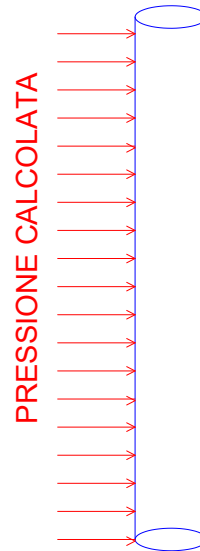
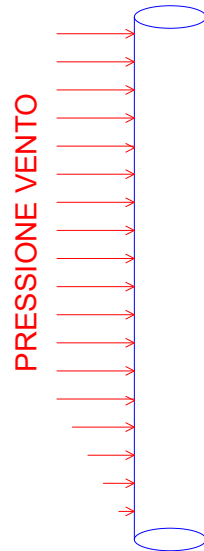
**$\nu$**  = (m<sup>2</sup>/s) viscosità cinematica dell'aria = 0.000017 (numero puro)

**Diagramma di correlazione tra il numero di **Reynold** e il coefficiente **C<sub>d</sub>****

Il coefficiente **C<sub>d</sub>** per tubi quadri o altri profili vale 2-3 volte il coefficiente per il tubo tondo.

**Per le velocità del vento si può assumere un valore di **C<sub>d</sub>** di 1.2 – 1.3 (tubo tondo)**

La spinta del vento si distribuisce su un elemento in funzione dell'altezza dal suolo, tuttavia per semplicità consideriamo una forza costante e perciò equivalente ad una forza unica concentrata nel baricentro della spinta.



La spinta equivalente vale:

$$F = C_d / 2 \times V^2 \times \rho \times A$$

Dove :

**F** è la spinta espressa in N

**C<sub>d</sub>** è il coefficiente dinamico (normalmente vale 1.2 – 1.3)

**V** è la velocità del fluido in m/s (va elevata al quadrato)

**ρ** è la densità del fluido, nel nostro caso è la densità dell'aria 1,202 kg/m<sup>3</sup>

**A** è la superficie esposta al vento (m<sup>2</sup>)

## DEFORMAZIONE ELASTICA

La massima deformazione di un palo incastrato alla base sarà sulla punta.

Il palo è soggetto alle spinte orizzontali del vento F

La deformazione in campo elastico è determinata dalla formula:

$$(F \times l_c^3) / (E \times J)$$

F = sommatoria delle spinte - daN

L = lunghezza di inflessione - cm

E = modulo elastico del materiale (per l'acciaio = 2.100.000 daN<sup>cm</sup><sup>2</sup>)

J = Momento di inerzia della sezione - cm<sup>4</sup> (il valore si può trovare su tabelle)

# CALCOLO DI VERIFICA

Definite tutte le forze agenti, permanenti e accidentali si determinano tutte le sollecitazioni agenti sulla struttura:

- Gli sforzi normali centrati e/o eccentrici (N o daN)
- Gli sforzi di taglio (N o daN)
- I momenti flettenti (N x m oppure daN x cm)

Si determinano quindi le caratteristiche geometriche della struttura:

- Altezza della struttura
- Area della sezione
- Momento di inerzia J e Momento resistente W
- Caratteristiche del materiale ( $\sigma_{amm}$  e  $T_{amm}$ )

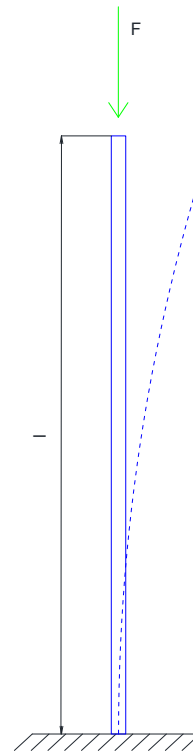
Si calcolano le tensioni indotte e si verifica che il sigma ideale sia inferiore a quella ammissibile

$$\sigma_{id} < \sigma_{amm}$$

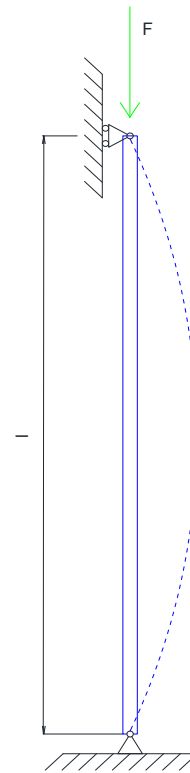
## INSTABILITA' ASTE SOGGETTE A CARICO "DI PUNTA":

Un'asta snella si può inflettere anche quando il carico è "normale" ovvero applicato nel baricentro della sezione.

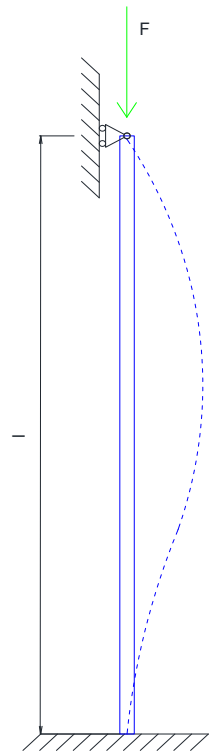
Lunghezza di calcolo =  $l_c$



$$l_c = 2 \times l$$



$$l_c = l$$



$$l_c = l / \sqrt{2}$$



La “snellezza” dell’asta dipende dal rapporto  $\lambda = l_c / \rho$       Lambda:  $\lambda$       (numero puro)

Ro:  $\rho$       (cm)

Dove  $\rho$  è una caratteristica della sezione indicata nelle tabelle, in ogni caso  $\rho = \sqrt{J / A}$

Calcolato  $\lambda$ , apposite tabelle forniscono il valore del coefficiente  $\Omega$  (numero puro), quindi basta moltiplicarlo per il valore della forza  $F$  agente per ottenere  $F_c$  (forza di calcolo)

$$F_c = F \times \Omega$$

Si verifica poi che la Sigma calcolata  $\sigma_c = F_c / A$  sia inferiore alla Sigma ammissibile

$$\sigma_c < \sigma_{amm}$$

## PALI STRALLATI (CON TIRANTI)

La forza  $F$  si scompone in due direzioni:

$V$  = forza verticale sul palo

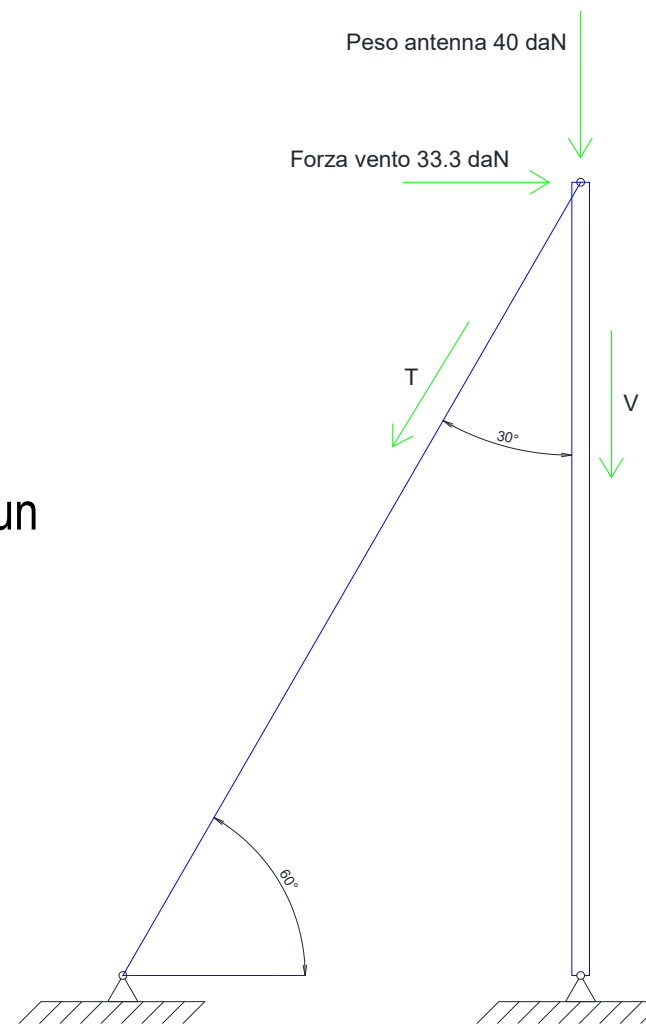
$T$  = trazione sul tirante

Si può facilmente determinare le forze  $V$  e  $T$  con un semplice metodo grafico: si riportano su carta la forza  $F$  del vento, l'angolo  $\alpha$  e poi si misurano le forze  $V$  e  $T$ , oppure si possono calcolare con le formule trigonometriche:

$$F = 33.3 \text{ daN} \quad \alpha = 60^\circ \quad \beta = 30^\circ$$

$$T = F / \sin \beta = 66.6 \text{ daN}$$

$$V = T \times \cos \beta = 57.7 \text{ daN}$$



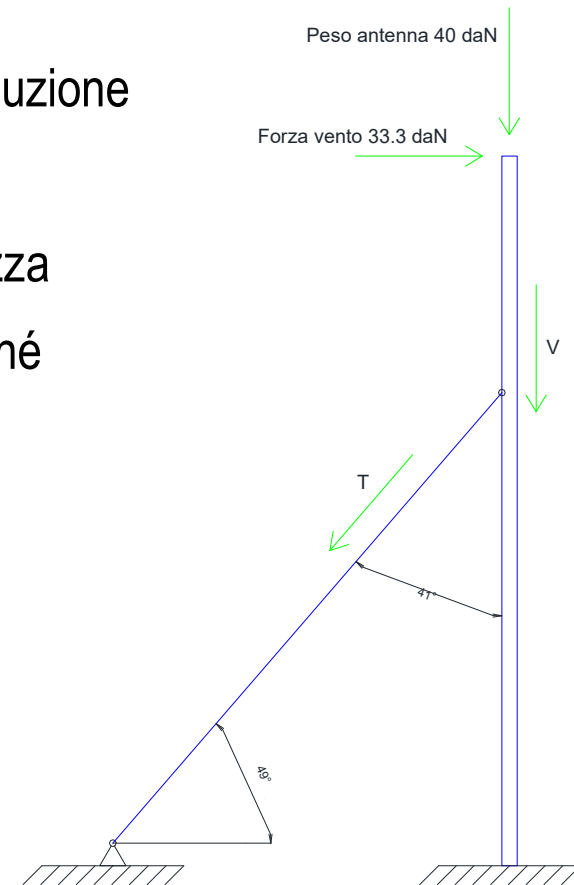
In sintesi abbiamo tolto un momento flettente alla base ma abbiamo aggiunto una forza verticale e quindi un carico di punta che si aggiunge al carico dell'antenna: dovremo procedere alla verifica!

Sul palo agirà una forza verticale pari a  $\text{Peso antenna} + V = 97.7 \text{ daN}$

# PALO STRALLATO CON TIRANTI LUNGO IL TUBO

Generalmente si applicano gli stralli a  $2/3$  dell'altezza: questa soluzione è ben più vantaggiosa della precedente in quanto si riduce il carico di punta indotto dalla forza verticale aggiunta (la lunghezza di inflessione è minore) ma il calcolo diventa più complesso perché il palo ha un maggior numero di vincoli, si dice che la struttura è iperstatica.

I vincoli sono: l'incastro alla base e il tiro dello strallo, tra l'altro notare che maggiore è l'angolo tra lo strallo e il palo minore è la forza  $T$



# STRUTTURE IPERSTATICHE

Per calcolare la struttura iperstatica si impiega:

- Il teorema dei lavori virtuali, il tirante è sostituito da una forza fittizia che impedisce lo spostamento orizzontale dell'asta incastrata alla base.
- Il calcolo agli elementi finiti che è un modello matematico che determina con notevole approssimazione le sollecitazioni per ogni asta: è il calcolo universalmente usato dai tecnici per il calcolo sismico di strutture anche molto complesse; esistono molti programmi **f.e.m.** (finished elements modulation) per p.c.

# IL LAVORO DI DEFORMAZIONE

Il lavoro di deformazione di una struttura è pari a:

$$Ld = \frac{1}{2} \times \Sigma (F_i \times s)$$

Il lavoro della deformazione esterna = circa  $\frac{1}{2}$  della energia elastica Interna. (Teorema di Clapeyron)

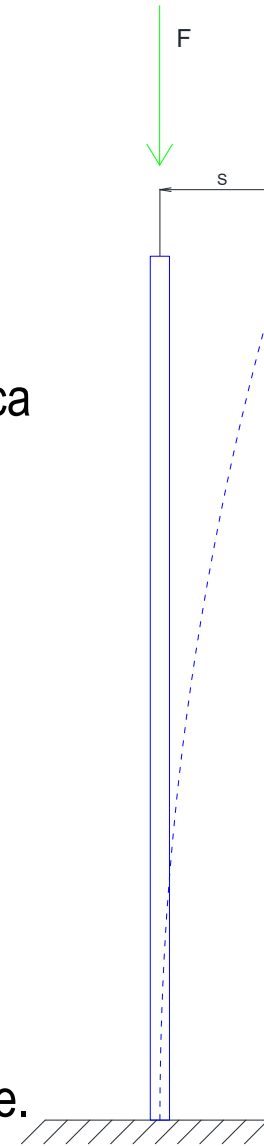
In pratica si consiglia di usare:

- Aste ad elevata resistenza ma anche ad elevata elasticità
- Mai stralli rigidi, al contrario piuttosto elastici, infatti

$$\text{Energia} = T \times \Delta l \quad (T = \text{tensione}, \Delta l = \text{allungamento})$$

Vanno benissimo i tiranti con molla ammortizzante.

Questa energia si sottrae dunque al lavoro delle forze esterne.



# LE STRUTTURE A TRALICCIO (CON O SENZA STRALLI)

## Presentano alcuni vantaggi:

- La sezione ha un elevato momento di inerzia  $J$  soprattutto in rapporto al peso
- Sono relativamente leggere e il rapporto  $J / \text{peso}$  è elevato

## ... e alcuni difetti:

- Sono un po' costose
- La superficie esposta al vento è elevata in quanto  $A = \Sigma$  area delle singole aste
- Se le aste sono costituite da normal profili ad "L", il  $C_d$  è decisamente elevato (numero di Reynold basso), quindi è notevole la spinta del vento; i tralicci formati da elementi tubolari a sezione rotonda presentano un  $C_d$  inferiore ma sono più costosi: basti pensare al lavoro di saldatura degli elementi tubolari!

## Proprietà meccaniche alluminio e acciaio

- Le leghe di alluminio possiedono proprietà meccaniche inferiori rispetto ad un acciaio o ad una lega di titanio. Per contro, il basso peso specifico delle prime garantisce in linea generale un risparmio in peso sul componente. Le proprietà meccaniche della lega possono essere migliorate con trattamenti di lavorazione a freddo, oppure aggiungendo elementi come rame, magnesio, silicio, manganese e zinco, e l'indurimento sopra descritto. Il costo dell'alluminio è superiore a quello dell'acciaio, mediamente 3-4 volte!

La seguente tabella dà un'idea delle proprietà tipiche di alcune leghe di **alluminio** di uso strutturale:

Denominazione lega	Densità	Carico di rottura	Carico di snervamento	Modulo elastico	Note
2024-T3	2.780 kg/dm <sup>3</sup>	483 MPa	<b>345 MPa</b>	73,1 GPa	Buone proprietà meccaniche, buona resistenza a fatica
7075-T6	2.810 kg/dm <sup>3</sup>	572 MPa	<b>503 MPa</b>	71,7 GPa	Elevate proprietà meccaniche, suscettibile a tensocorrosione
7175-T66	2.800 kg/dm <sup>3</sup>	590 MPa	<b>520 MPa</b>	72 GPa	Miglior controllo sul tenore delle impurità rispetto alla 7075, aumentano le proprietà meccaniche e i costi
2090-T3	2.590 kg/dm <sup>3</sup>	320 MPa	<b>210 MPa</b>	76 GPa	1,9-2,6% di Li, elevata rigidità e bassa densità, costi elevati

6061-O	2.700 kg/dm <sup>3</sup>	124 MPa	<b>55,2 MPa</b>	68,9 GPa	Basse proprietà meccaniche, buona saldabilità
--------	--------------------------	---------	-----------------	----------	---

- La tabella seguente invece riporta, a titolo comparativo, le proprietà tipiche approssimative di alcuni **acciai** e leghe di titanio:

Denominazione lega	Densità	Carico di rottura	<b>Carico di snervamento</b>	Modulo elastico	Note
Acciaio maraging tipico	8.000 kg/dm <sup>3</sup>	1.200 MPa	<b>800 MPa</b>	200 GPa	Acciaio "martensitic aging" ad alta resistenza
Acciaio a basso tenore di carbonio	7.850 kg/dm <sup>3</sup>	700 MPa	<b>400 MPa</b>	200 GPa	Può essere ulteriormente trattato per migliorarne le proprietà
Acciaio ad alto carbonio, temprato e rinvenuto	7.800 kg/dm <sup>3</sup>	1.700 MPa	<b>1.500 MPa</b>	205 GPa	Acciaio ad altissima resistenza, ma molto fragile
Titanio Ti-6Al-4V <sub>a</sub>	4.400 kg/dm <sup>3</sup>	1.200 MPa	<b>1.100 MPa</b>	114 GPa	Il titanio più usato per applicazioni strutturali
Composito in fibra di carbonio	1.500 kg/dm <sup>3</sup>	Fino a 4.000 MPa			Proprietà indicative, dipendono molto dalla realizzazione specifica del componente



# CONCLUSIONI

## In funzione di:

- Sito di installazione
- Tipo di antenna
- Altezza dell'antenna dal suolo
- Possibilità di ancoraggio del sostegno al suolo o a strutture fisse (tipo di vincolo)
- Possibilità di ancorare eventuali tiranti
- Vincoli urbanistici e/o di confine

**Si può individuare la tipologia del sostegno più adatta.**

## **NORMATIVA, PRATICHE BUROCRATICHE**

In Italia il D.P.R. del 06 giugno 2001 n°380 disciplina le attività edilizie e le opere a struttura metallica, in particolare al capo I gli art. 64 e 65 prevedono che tutte le strutture sono soggette ai seguenti adempimenti:

- Denuncia delle opere strutturali allo sportello comunale
- Progettazione eseguita da tecnico abilitato
- Esecuzione da parte di impresa sotto la direzione lavori di tecnico abilitato
- Certificati dei materiali impiegati, rilasciati da laboratori autorizzati
- Collaudo strutturale eseguito da altro tecnico abilitato

Per quanto riguarda la progettazione si deve far riferimento alle N.T.C. (Norme Tecniche per le Costruzioni) edizione 2018 che prevedono anche il calcolo antisismico delle strutture.

In caso di omissione della denuncia al capo II l'art. 44 prevede l'arresto fino a due anni oltre ad un'ammenda da 5.000 a 51.000 Euro !!!

A questo punto quali sono le caratteristiche di una struttura affinché rientri nella normativa succitata?

Il D.G.R. del 26/11/2021 nell'elenco A2 "*Elenco degli interventi privi di rilevanza nei riguardi della pubblica incolumità ... omissis*" prevede il deposito presso l'U.T. del Comune la denuncia con **modalità semplificata** per:

## EDIFICI ESISTENTI

1. Nuove opere su costruzioni esistenti qualora classificabili come interventi locali secondo le norme tecniche per le costruzioni.

1.1. Pensiline esterne a sbalzo in legno, metallo o altro materiale leggero, in genere sopra finestre o portoncini di ingresso, con aggetto  $\leq 1.50$  m, aventi superficie coperta  $\leq 4$  mq e con peso proprio (G1) e permanente portato (G2) complessivamente  $\leq 0,50$  kN/mq.

**1.2. Strutture di sostegno per dispositivi di telecomunicazione, antenne e impianti leggeri gravanti sulla costruzione, limitatamente a quelli aventi consistenza strutturale, aventi altezza compresa tra 3 m e 5 m.**

Quindi per sostegni con altezza minore di 3 metri non occorre alcuna denuncia; per quelli con altezza maggiore di 5 metri occorre la denuncia ordinaria. Anche le strutture esistenti!

Un altro obbligo per sostegni, vedi ad esempio un traliccio fissato ad un basamento in c.a. (plinto) è il rilascio del permesso di costruire da parte dell'ente comunale ed eventualmente del parere favorevole della Commissione Beni Ambientali.

Si consiglia in ogni caso di dotarsi di un'assicurazione per le antenne che per lo meno copra i danni materiali prodotti da accidentali cedimenti.