

*Oggetto: Tralicci e Vento*  
*Data: Sun, 14 Mar 2004 17:03:27 +0100*  
*Da: Arturo IK7JWY*  
*Gruppi di discussione: it.hobby.radioamatori.moderato*

*A seguito di diverse e-mail sinora giuntemi sull'argomento, allego il seguente materiale informativo da me appositamente redatto. Ricordo, comunque, che in caso di verifiche o calcoli con valore giuridico di strutture metalliche per supporto antenne è doveroso affidarsi a professionisti del settore.*

*Infine, ho in programma di inserire sul sito delle FAQ di codesto NG, oltre che sul mio, sia il seguente articolo sia un'applicazione javascript che consentirà un calcolo di massima utilizzando il solo browser. Se la cosa non riuscirà, ripiegherò sul classico foglio Excel.*

## **Tralicci e vento**

(ver. 1.0.0 – marzo 2004 by Arturo D'Aprile)

Le antenne sono l'interfaccia che i radioamatori utilizzano per interfacciarsi con il resto del mondo. Esse sono sorrette da pali o tralicci metallici di varie dimensioni e consistenza.

Quando si pone il problema della verifica strutturale di tali supporti, quali azioni vanno prese in considerazione? Quella che decisamente incide in misura maggiore su questo tipo di strutture è il vento. Spesso, il vento induce su strutture metalliche snelle e leggere, quali sono i nostri tralicci o pali di supporto antenne, sollecitazioni maggiori di quelle indotte da un sisma. In presenza di sisma, infatti, sia esso di tipo sussultorio o di tipo ondulatorio, le masse in gioco, nel nostro caso di antenne sorrette da un traliccio o palo, sono tali da non indurre nella struttura, per effetto del sisma, significative sollecitazioni, compatibilmente anche con le condizioni di vincolo della specifica struttura considerata.

Naturalmente, lo stesso vento andrebbe riguardato, esso stesso, come un'azione dinamica, più che statica, nel senso che esso esercita sulle strutture azioni che variano nel tempo, provocando, appunto, effetti dinamici.

Generalmente, tuttavia, si riconducono le azioni esercitate dal vento ad azioni statiche equivalenti, di direzione orizzontale, anche se, a rigore, nel caso di strutture di grande altezza o di rilevante snellezza e leggerezza, o di notevole flessibilità e ridotte capacità dissipative, bisognerebbe fare ricorso all'applicazione di procedimenti analitici, numerici o sperimentali (galleria del vento) adeguatamente comprovati.

Le azioni statiche del vento si traducono in pressioni agenti sulle superfici esposte frontalmente al vento e in forze tangenti alle superfici parallele alla direzione del vento. Nel caso di strutture esili, come quelle metalliche di supporto delle nostre antenne, queste ultime azioni tangenti possono essere trascurate.

Possiamo avere un'idea dell'entità di tali azioni facendo un'analogia un po' curiosa con la guida in automobile. In questo caso, la struttura investita dal vento è la nostra automobile. Essa non è ferma, come

nel caso di un traliccio, ma si muove nel mezzo (aria) ad una certa velocità. Avremo provato tutti, almeno una volta, d'estate, a mettere un braccio fuori dal finestrino (tranne chi ha l'aria condizionata in auto). Il vento (in questo caso l'aria in cui ci muoviamo con la nostra auto) cerca di portarci via il braccio all'indietro, e la sensazione è tanto maggiore quanto più elevata è la velocità con cui viaggiamo.

Naturalmente, se dobbiamo fare una verifica analitica e ai sensi dell'attuale normativa tecnica di un sistema di supporto di antenne, non ci basta questa comprensione intuitiva del fenomeno. Abbiamo bisogno di un modello fisicamente attendibile e giuridicamente accettato che ci consenta di esemplificare la realtà.

Ecco, allora, che ci viene in aiuto la Norma attualmente in vigore in Italia, contenuta nel Decreto Ministeriale 16/01/1996, e intitolata "*Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi*". Essa, al paragrafo 7, tratta appunto delle azioni del vento sulle costruzioni. In particolare, al paragrafo 7.2, chiarisce che la pressione del vento su una struttura è data dall'espressione:

$$p = q_{ref} \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d, \text{ dove } \begin{cases} q_{ref} = \text{pressione cinetica di riferimento} \\ C_e = \text{coefficiente di esposizione} \\ C_p = \text{coefficiente di forma (o aerodinamico)} \\ C_d = \text{coefficiente dinamico} \end{cases}$$

Vediamo di capire i vari fattori in gioco. La  $q_{ref}$ , espressa in  $\text{Newton/m}^2$  ( $1 \text{ kgf} = \text{circa } 10 \text{ Newton}$ ), è in pratica la pressione che il vento esercita su una superficie in virtù della sua velocità relativa rispetto alla superficie medesima. Nella generalità dei casi, anche in quello della nostra automobile che si muove nell'aria, tale pressione cinetica è direttamente proporzionale al quadrato della velocità relativa. Nel nostro caso, la norma in argomento stabilisce:

$$q_{ref} = \frac{v_{ref}^2}{1,6}$$

dove  $v_{ref}$  = velocità di riferimento del vento, espressa in metri/secondo (m/s). Rammento che per passare da km/h a m/s basta dividere per 3,6. Esempio: 100 km/h equivalgono a  $100/3,6 = 27,8 \text{ m/s}$ .

Ma cosa è esattamente tale velocità di riferimento? Essa rappresenta il valore massimo riscontrato in un intervallo di tempo di 50 anni, della velocità del vento a 10 metri dal suolo in aperta campagna o aeroporti. Per quantificarla, quindi, in mancanza di dati sperimentali più precisi, faremo ricorso alla tabella 7.1 allegata alla normativa citata, che divide l'Italia in 9 Zone, ciascuna con la propria velocità di riferimento. Per fare qualche esempio, la provincia di Trieste ricade in zona 8 con  $v_{ref} = 31 \text{ m/s} = 112 \text{ km/h}$  circa. Il Piemonte, invece, ricade in zona 1, con  $v_{ref} = 25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$ . Tutte le isole (tranne Sicilia e Sardegna) ricadono in zona 9, con  $v_{ref} = 31 \text{ m/sec}$ , come per Trieste.

Sembrerebbe che in questo discorso non abbia importanza l'altezza del sito interessato rispetto al livello del mare. In realtà se ne tiene conto aumentando la  $v_{ref}$  relativa alla zona di competenza in misura proporzionale alla differenza ( $a_s - a_o$ ) tra l'altezza del sito e un'altezza di riferimento diversa per ciascuna delle 9 zone in cui è divisa l'Italia.

Passiamo ora ai coefficienti  $C_e$ ,  $C_p$  e  $C_d$ .

### Cos'è il coefficiente di esposizione $C_e$ ?

Esso tiene conto dell'altezza della struttura rispetto al suolo su cui è ubicata, nonché della categoria di esposizione del sito ove sorge la struttura. Quest'ultima viene determinata in base alla rugosità del suolo nel raggio di 1 km dalla struttura in esame (aree urbane, suburbane, aperta campagna, laghi, mare etc) e in base alla posizione geografica del sito rispetto alla linea di costa. In pratica, il coefficiente di esposizione  $C_e$  aumenta all'aumentare dell'altezza della struttura e al passare dalla categoria di esposizione V (esempio: area urbana a più di 40 km dalla costa in Sicilia) alla categoria I (esempio: aperta campagna entro 10 km dalla costa in Sardegna).

E' da osservare che, nel caso peggiore, tale  $C_e$  può attingere un valore prossimo a 5, il che significa moltiplicare per 5 la pressione del vento sulla struttura!

Va, inoltre, notato che il  $C_e$  è funzione della quota a cui andiamo a calcolarlo. Esso, quindi, aumenta man mano che saliamo lungo la struttura in esame. Sarebbe eccessivamente penalizzante andare a calcolare il  $C_e$  proprio in corrispondenza della massima altezza propria della struttura e considerarlo poi valido per tutta la sua altezza. E', invece, corretto suddividere la struttura a tratti e andare a calcolare il  $C_e$  relativo a ciascuno di tali tratti. Di conseguenza, alla fine, non avremo un carico distribuito lungo il traliccio costante dalla base alla sommità, ma minimo alla base e massimo alla sommità.

A dire il vero, nell'espressione che permette di calcolare il  $C_e$  entra in gioco anche un quarto coefficiente, il coefficiente di topografia  $C_t$ . Esso, però, viene di regola posto pari a 1, tranne che nel caso di strutture ubicate presso la sommità di colline o pendii isolati. In questi casi, tale coefficiente di topografia è aumentato di una quantità correlata al rapporto tra altezza della struttura, altezza e pendenza media della collina.

### Cosa è il Coefficiente di forma (o aerodinamico) $C_p$ ?

Esso tiene conto della tipologia e della geometria della struttura e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Tornando all'analogia automobilistica, è ovvio che una Ferrari avrebbe un coefficiente aerodinamico mediocre se venisse fatta correre di traverso, o al contrario.

Il valore di  $C_p$  andrebbe ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o prove in galleria del vento. Poiché non è questo il nostro caso, ci tornerà quanto mai utile la Circolare ministeriale 4/7/1996 "Istruzioni carichi e sovraccarichi", la quale, al paragrafo C.7.6.5. "*Torri e pali a traliccio a sezione rettangolare o quadrata*" indica per tali strutture un valore del coefficiente aerodinamico pari a 2,4 nel caso di torri con montanti tubolari a sezione circolare e pari a 2,8 nel caso di torri con montanti a sezione diversa dalla circolare, entrambi validi qualora si consideri il vento spirante in direzione perpendicolare ad una delle pareti del traliccio. Se si considerasse il vento spirante secondo la bisettrice dell'angolo compreso tra due pareti del traliccio, allora i suddetti valori andrebbero aumentati di un fattore 1,15.

#### Cosa è il Coefficiente dinamico $C_d$ ?

Esso tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali, e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Generalmente, in mancanza di dati più precisi derivanti da procedimenti di comprovata affidabilità, si pone  $C_d = 1,1$ .

Una volta calcolata la pressione del vento, sarà agevole passare al carico agente sulla struttura, nota la superficie effettivamente esposta al vento.

Considerando, per esempio, un traliccio a sezione trasversale quadrata, ipotizzando il vento spirante in direzione perpendicolare ad una delle 4 pareti del traliccio, la superficie esposta al vento sarà quella della sola parte piena della parete considerata. Essa, quindi, si otterrà sommando l'area della parte dei due montanti e delle traverse investita dal vento. Calcolata la superficie esposta, la si moltiplicherà per la pressione prima determinata, ottenendo la forza orizzontale agente sul tratto di traliccio considerato.

--

ik7jwy  
arturodapriale at libero.it