

# IL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA: SE SI FA, BISOGNA TENERLO D'OCCHIO

Massimo CHILLEMI, Luigi GIACOBBE

DRP Facoltà di Ingegneria Università di Messina, 0903977208, [massimochillemi@tiscali.it](mailto:massimochillemi@tiscali.it), [studiogiacobbe@tiscali.it](mailto:studiogiacobbe@tiscali.it)

## Riassunto

La costruzione del Ponte sullo Stretto di Messina sembra diventare una realtà prossima e ciò offre un'opportunità unica nei campi di ricerca dei settori scientifici e tecnologici coinvolti nella realizzazione. La presente nota intende porre l'attenzione sul problema del monitoraggio degli spostamenti dell'opera, che si renderà necessario al fine di garantirne la funzionalità e le condizioni di sicurezza, sia in fase di costruzione che di esercizio.

Si propone nel seguito uno schema di larga massima su cui è possibile sviluppare un progetto esecutivo di monitoraggio, che nell'ambito di un corretto rapporto Benefici/Costi, possa rispondere alle esigenze poste da un'opera unica al mondo.

## Abstract

The construction of the Bridge on the Straits of Messina could become soon a reality, giving impulse to the involved scientific and technological fields.

In this note we shall set out our attention on the check of the displacements of the structure, that is necessary to warrant the functionality and the safety of the bridge.

We suggest a general scheme, that is a possible start point to develop an executive project of a monitoring system within the framework of a right Benefits/Costs ratio.

## 1. Premessa

La costruzione del Ponte sullo Stretto di Messina potrebbe divenire in tempi brevi una realtà e attorno ad essa i temi di ricerca nei più svariati settori trovano impulso per la grandiosità dell'opera, che nel suo ambito sarà la più importante del mondo. Questa nota intende affrontare e porre all'attenzione della nostra comunità scientifica il problema del monitoraggio degli spostamenti dell'opera, poiché questa struttura, come abbiamo anticipato nel titolo, dev'essere tenuta costantemente sotto controllo.

Il progetto di monitoraggio deve nascere contestualmente alle altre problematiche proprio perché deve essere organicamente concepito, affrontando sin da ora tutte le inevitabili difficoltà che un'opera del genere proporrà in tema di controlli.

La nota che segue si articola nei seguenti argomenti:

- l'ambiente in cui è prevista la realizzazione;
- le caratteristiche dell'opera;
- una proposta specifica di monitoraggio.

## 2. L'ambiente

L'asse del Ponte ha una direttrice Nord-Sud e tocca la sponda calabra in prossimità di Cannitello e quella sicula in un punto intermedio tra i villaggi di Ganzirri e Torre Faro. I due siti hanno le seguenti coordinate UTM:

- sponda calabrese: 33SWC564321
- sponda siciliana: 33SWC552351

La campata principale del ponte si sviluppa su un tratto di mare le cui bellezza ed aggressività sono conosciute dai tempi di Omero. Un tratto di mare capace di offrire uno dei panorami più belli ed affascinanti del mondo e, al tempo stesso, capace di trasformarsi in un inferno di pioggia e vento, caratterizzato da escursioni termiche molto significative e dalla possibilità incombente di un evento sismico catastrofico. Se a tutto ciò si aggiunge che sulla campata più lunga del mondo dovrà transitare il traffico gommato e ferroviario da e per l'Italia continentale, ben si comprende quale sia il livello di rischio che tutta la progettazione e realizzazione dovranno attenzionare e prevenire.

In questo contesto, delineato dall'eccellenza di una struttura che dovrà sopportare carichi dinamici notevoli, in ambiente in cui vento, sole, acqua e sisma possono costituire una minaccia costante, solo il monitoraggio continuo degli spostamenti potrà essere l'unico termometro indicativo dello stato di salute del Ponte.

### 3. Le caratteristiche dell'opera

Il progetto del collegamento stabile tra la Sicilia e l'Italia Continentale mediante la realizzazione del Ponte sullo Stretto di Messina prevede in sintesi le seguenti opere:

- impalcato e relativo sistema di sospensione;
- torre sulla sponda sicula in località Ganzirri;
- torre sulla sponda calabra in località Cannitello;
- blocco di fondazione sul versante siciliano in località Ganzirri alto;
- blocco di fondazione sul versante calabrese in località Piaie;
- infrastrutture di collegamento alla viabilità autostradale e ferroviaria.

Con riferimento allo schema strutturale dell'opera, si possono individuare alcuni elementi significativi desumibili dal progetto preliminare:

- luce della campata centrale: 3300 m
- luce delle campate laterali: 960 m e 810 m
- larghezza complessiva dell'impalcato: 60,4 m
- area trasversale dei cavi portanti: 4 m<sup>2</sup>
- altezza torre lato Sicilia: 380,06 m s.l.m.
- altezza torre lato Calabria: 379,31 m s.l.m.
- peso strutturale dell'impalcato: 650.000 kN
- peso di ogni torre: 541.000 kN
- peso complessivo dei cavi principali: 1.666.000 kN

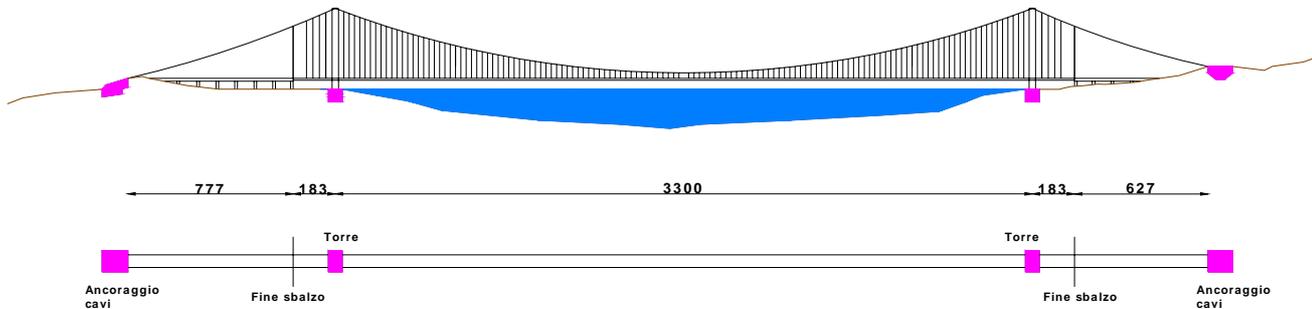


Figura 1: sezione longitudinale e schema planimetrico dell'impalcato

#### 3.1. L'impalcato

L'impalcato sospeso si estende per complessivi 3.666 m tra i giunti di dilatazione con una larghezza corrente di 60,4 m, esclusi gli aggetti dei profili stabilizzatori.

La sezione trasversale corrente è costituita da due cassoni stradali e da un cassone ferroviario con luce netta di 26 m (interasse dei trasversi pari a 30 m). I cassoni stradali sono sagomati con sezione alare asimmetrica con larghezza ed altezza rispettivamente pari a 14 m e a 2,35 m. Il cassone ferroviario è invece largo 8,29 m ed alto 2,32 m. Il collegamento tra i tre cassoni è assicurato da trasversi larghi 4 m, di altezza massima pari a 4,67 m e lunghi 52 m.

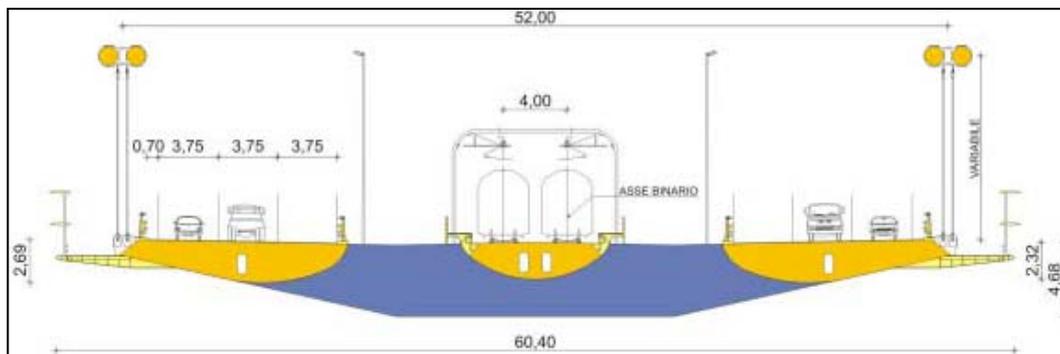


Figura 2: sezione trasversale dell'impalcato

### 3.2. Il sistema di sospensione ed i blocchi di ancoraggio

Il sistema di sospensione è costituito da 4 cavi principali, collari, pendini, selle, pettini e relativi sistemi di ancoraggio.

I cavi principali sono disposti a coppie ad un interasse di 52 m e, in proiezione orizzontale, hanno una lunghezza complessiva di 5.070 m; il diametro di ciascun cavo è di 1,24 m.

Ad interasse di 30 m i due cavi costituenti ciascuna coppia sono collegati da collari di acciaio, ai quali sono sospesi i pendini, che, in numero variabile da 8 a 16, sostengono ciascun trasverso.

I blocchi di ancoraggio dei cavi sulle due sponde sono costituiti da opere in c.a. massive di sezione prismatica, modellata per agevolarne l'inserimento nella morfologia dei due siti e per sviluppare il massimo sviluppo di superfici di contatto con il terreno; ne consegue una diversa forma dei due blocchi, che sviluppano rispettivamente un volume di circa 328.000 m<sup>3</sup> (ancoraggio lato Sicilia) e di circa 237.000 m<sup>3</sup> (ancoraggio lato Calabria).

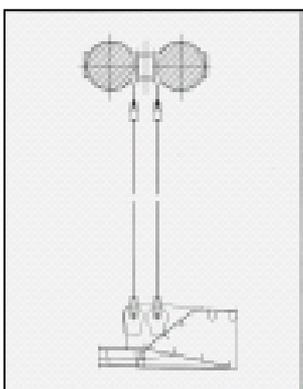


Figura 3: sistema di sospensione

### 3.3. Le torri

Le due torri, di altezza complessiva pari a 380 m, sono state modellate con una configurazione di tipo lamellare formata da due gambe di sezione sub-ottagonale collegate da quattro trasversi. L'interasse tra le gambe è variabile da 78,45 m al piano d'imposta delle fondazioni a 52 m in testa alla struttura; l'inclinazione delle torri nel piano verticale è quindi di 2°01'43".

Il primo dei 21 conci modulari costituenti ciascuna gamba è inserito nel blocco di fondazione per un'altezza di 12 m. I trasversi di collegamento tra le due gambe sono costituiti da cassoni di altezza e larghezza rispettivamente pari a 16,90 m e a 4 m.

Il sistema di fondazione delle torri è costituito da coppie di plinti di sezione circolare del diametro di 55 m per la torre sulla sponda siciliana e di 48 m per la torre sulla sponda calabrese. Il collegamento di ciascuna coppia di plinti è assicurato da una trave di sezione rettangolare con larghezza ed altezza rispettivamente pari a 18 m e a 15 m.

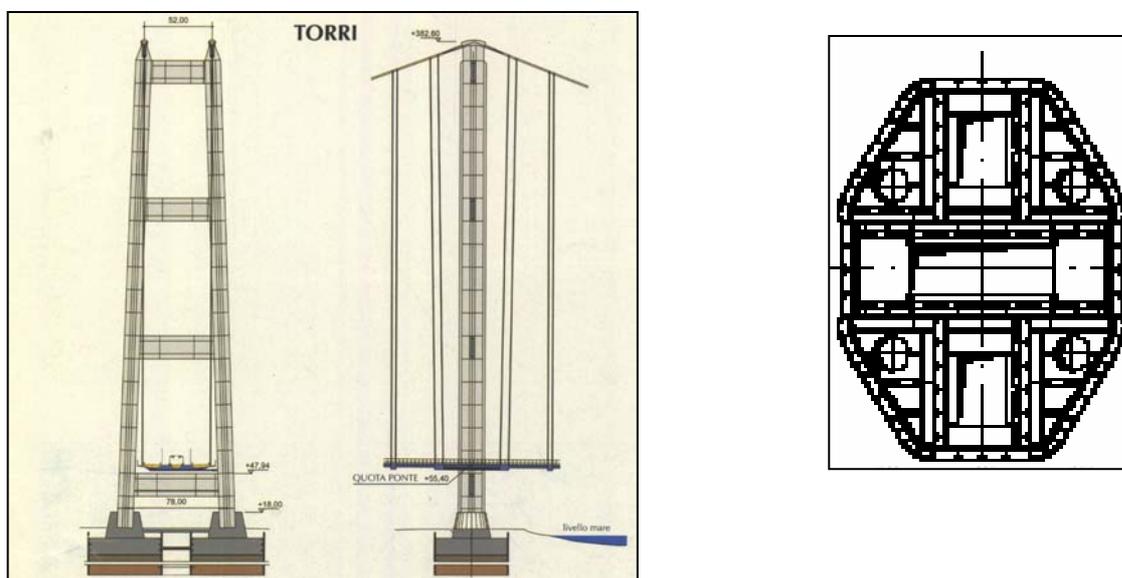


Figura 4: prospetti delle torri e sezione del concio tipo della gamba

#### 4. Il monitoraggio

Monitorare una struttura significa poter determinare, attraverso la misura dei suoi spostamenti, il grado di sicurezza, che in questi termini va inteso come funzione di stato della struttura medesima:

$$G = g \begin{matrix} |x| \\ |y| \\ |z| \end{matrix}$$

dove:

- G è il grado di sicurezza;
- g (x, y, z) è il funzionale che esprime la funzione di stato;
- $\begin{matrix} |x| \\ |y| \\ |z| \end{matrix}$  è un vettore spostamento.

Ancorché la cultura del monitoraggio non sia particolarmente sviluppata in Italia, esso rappresenta un punto di arrivo nell'ambito del controllo del territorio e si pone tra le misure di Alta Precisione come argomento di eccellenza. A differenza dei controlli e dei collaudi, il progetto del monitoraggio ha come obiettivo la conoscenza degli spostamenti di una struttura per tutta la sua durata ed ha pertanto la necessità di definire preventivamente e valutare i seguenti aspetti:

- direzioni significative di movimento;
- ordine di grandezza e range;
- incertezza sui valori di misura.

Il progetto, organicamente concepito insieme al dimensionamento strutturale, tenuto conto degli aspetti sopra citati, deve pervenire ad un soddisfacente rapporto

$$R = B/C$$

dove:

- B è il beneficio obiettivo del progetto;
- C è il costo necessario per ottenere B.

Individuare il termine C è abbastanza semplice, in quanto si tratta di valutare:

- i costi del progetto e le spese generali;
- il costo per l'ammortamento strumentale;
- il costo per la posa in opera degli strumenti;
- il costo del personale addetto alle misure;
- il costo per l'elaborazione delle misure;
- altri costi dovuti ad imprevisti.

Per individuare B, è necessario darne preventivamente una definizione. Dal momento che in letteratura non esiste un precedente in merito, gli autori ritengono che la formulazione più significativa del concetto di beneficio nell'ambito di riferimento possa essere la seguente:

*“Il beneficio del monitoraggio è la più opportuna valutazione del grado di sicurezza  $G = g(x, y, z)$ ”.*

Ne discende che dovranno essere presi in considerazione i seguenti aspetti:

- funzione della struttura (residenze, ospedali, ponti, centrali nucleari, ecc.);
- rapporto tensioni-deformazioni;
- ordine di grandezza degli spostamenti;
- incertezza sugli spostamenti e conseguente incertezza su G;
- tipo di variazione di G nell'intervallo compreso tra  $\delta_1$  (condizione di esercizio) e  $\delta_2$  (condizione di collasso).

È quindi evidente che il termine B scaturisce da una valutazione sinergica dell'analisi strutturale e dell'analisi delle misure. Senza entrare nel dettaglio del tema, si vuole soltanto specificare che, essendo

$$G = f(\delta) \quad [1]$$

e dato che si ottiene

$$\underline{\delta} = \delta_m \pm \sigma_\delta \quad [2]$$

sarà

$$\underline{G} = G(\delta) \pm \sigma_G \quad [3]$$

dove

$$\sigma_G = f(\sigma_\delta)$$

Di conseguenza, il progetto di  $\sigma_8$  determina le dimensioni e la direzione degli assi dell'ellisse di errore del punto oggetto di monitoraggio.

## 5. La proposta di monitoraggio per il Ponte

Considerato l'elevato numero di variabili, il monitoraggio del Ponte mette in luce problematiche molto complesse, che in un primo approccio possono essere così riassunte:

- azioni ambientali: vento, escursioni termiche, sisma;
- azioni dovute alle sovrastrutture;
- azioni dovute all'utenza: carichi dinamici stradali e ferroviari;
- azioni antropiche volontarie e/o accidentali: sabotaggi, incidenti di varia natura.

In tutto ciò il punto nevralgico resta il controllo della deformazione dell'opera, unico parametro in grado di esprimere lo stato di salute della struttura.

Con riferimento allo schema progettuale e al livello di massima della proposta, gli elementi strutturali da sottoporre a monitoraggio sono:

- i blocchi di ancoraggio delle funi;
- le torri;
- la travata.

Le tecniche di posizionamento che nell'immediato appaiono più opportune sono:

- reti classiche da realizzare con stazioni integrate e robotizzate;
- reti G.P.S;
- reti miste.

I posizionamenti così ottenuti vanno comunque integrati attraverso misure locali di deformazione e di altre variabili (temperatura, pressione, etc.) da rilevare nei caposaldi della struttura e delle reti.

La presente proposta, pur non essendo esaustiva, intende specificare nel seguito i problemi di monitoraggio che si presentano. Analizziamone in particolare alcuni aspetti:

### 5.1. I blocchi di ancoraggio

Per quanto riguarda il blocco di ancoraggio delle funi, il monitoraggio deve essere in grado di individuare eventuali spostamenti del blocco medesimo in assoluto e dei cavi rispetto al blocco (sfilamento).

Il controllo degli spostamenti assoluti comporta l'individuazione di almeno tre punti, di cui occorre controllare i movimenti, in modo da poter stabilire se essi:

- a) sono fermi;
- b) si muovono concordemente (spostamento rigido);
- c) si muovono non concordemente (strappi, eventuali problemi di monoliticità del blocco).

In ogni caso, essendo i blocchi impegnati in parte dalla presenza di cavi metallici in superficie, il posizionamento GPS appare il più opportuno e semplice da realizzare.

### 5.2. Le torri e la travata

Prima di passare ad altre considerazioni, è importante notare che, se si inscrive la campata entro un cerchio di circa 1.900 m di raggio, il corridoio centrale ABCD è costituito da mare ed è quindi inutilizzabile ai fini del posizionamento.

Il posizionamento GPS appare comunque quello più opportuno, ma sarà necessario superare i problemi derivanti dalla presenza della notevole massa metallica e quindi di una possibile dispersione del segnale. Le reti classiche potrebbero essere utilizzate ad integrazione per il posizionamento dei punti in campata, in quanto sarebbero reperibili punti a quota 0 su entrambe le coste, con la possibilità di collimare l'asse del ponte.

È da tenere presente che per le torri sarà necessario controllare in continuo sia la fondazione che lo spostamento in sommità, per il quale, a causa dell'altezza delle torri, si impongono distanze minime di 600 m dai segnali.

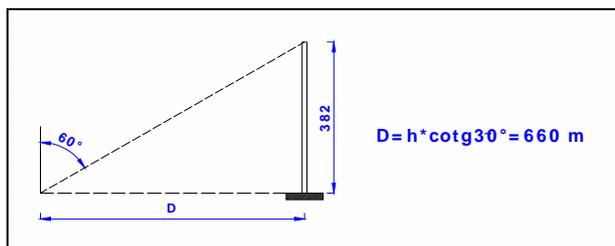
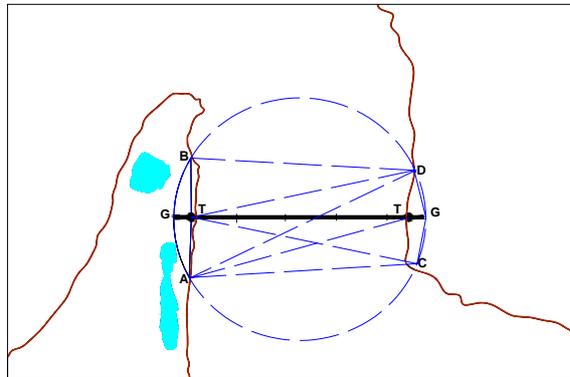


Figura 5: distanza minima di collimazione

Entrambi i posizionamenti potranno essere validamente integrati da inclinometri collegati a trasduttori; integrando le rotazioni in più punti, si potrà infine risalire alla deformata.



*Figura 6: schema di rete per il monitoraggio del Ponte*

## **6. Conclusioni**

Se mai l'idea di questo Ponte dovesse trasformarsi in cantiere, tutte le opportunità di ricerca si confronterebbero con una realtà unica al mondo.

In questo contesto, il monitoraggio degli spostamenti assumerebbe un ruolo cardine, così come questa nota ha voluto preannunciare, mettendo in evidenza a monte i problemi tecnologici da risolvere e a valle l'individuazione di un corretto rapporto benefici-costi.

Se le condizioni di opportunità lo consentiranno, svilupperemo nel seguito gli argomenti sin qui affrontati a livello di massima.

### **Bibliografia:**

Documentazione fornita dalla Società Stretto di Messina S.p.A., 2005

Sansò F: "Il trattamento statistico dei dati" – Edizioni CLUP, 1990

Barbarella: "Controllo di deformazioni" – Edizioni CISM. 1989

AA.VV.: "Guide to GPS positioning" – Canadian GPS Associates, 1986

Colombo L.: "Metodi topografici per il controllo statico" - Edizioni CLUP, 1983

Inghilleri G.: "Topografia Generale" – UTET, 1974