

SEZIONE QUARTA

L'analisi dei fattori di rischio
del progetto

Capitolo 7 - I fattori di rischio

di Paolo Rabitti

7.1 Definizione di rischio

Per *rischio* si intende un danno incerto a cui un soggetto e/o l'ambiente si trovano esposti in seguito a possibili incidenti o concatenazioni di eventi sfavorevoli.

Il rischio può essere ben rappresentato da una funzione del tipo:

$$R = f(S_i, F_i, M_i), i = 1 \dots n$$

dove:

R = rischio

S = scenari che descrivono l'evento

F = frequenza dell'accadimento

M = magnitudo dell'evento (conseguenze dell'evento misurate in un'unica scala di misura)

n = numero degli scenari prevedibili. Esiste un indice n+m, dove m = scenari non conosciuti, che definisce l'incertezza.

S (scenari) è stato introdotto per superare i limiti della precedente definizione di rischio, la quale era descritta dal semplice prodotto tra probabilità di accadimento e magnitudo dell'evento:

$$R = F * M$$

Secondo tale formalizzazione un'alta frequenza con bassa magnitudo è equivalente ad una bassa frequenza con un'alta magnitudo. In realtà

i due scenari sono profondamente diversi, in quanto il primo, per ridurre R, pone l'accento sulla riduzione di F, cioè sulla necessità di intervenire sulla manutenzione; il secondo, invece, pone l'accento sulla riduzione di M, cioè sulle misure di protezione degli addetti e dell'ambiente esterno, oppure mette in discussione l'esistenza stessa dell'impianto. Inoltre, per esempio nel caso di un polo chimico dove gli impianti sono gli uni a ridosso degli altri, F può essere modificato da un evento esterno (effetto "domino").

Si intende:

- per *evento incidentale*, o Top-Event, l'ultimo evento indesiderato che si trova alla fine di una catena di eventi;
- per *magnitudo*, la definizione qualitativa e quantitativa delle conseguenze di accadimento del Top-Event;
- per *frequenza*, la possibilità, elaborata su basi statistiche, che avvenga un determinato evento espresso in occasioni/unità di tempo.

7.2 Tipo delle cause di rischio

Piuttosto che di *tipi di rischio* è opportuno parlare di *tipi delle cause di rischio*, che possono essere

- naturali (terremoti, inondazioni, fulmini, epidemie ecc.);
- non naturali (guerre, inquinamenti ecc.).

Per brevità è consuetudine associare all'eventualità di accadimento la causa o l'oggetto od altro, si parla perciò di rischio

- sismico,
- sanitario,
- economico,
- ambientale,
- idrogeologico,
- industriale.¹

Per quanto ci riguarda, ci limiteremo a considerare brevemente tre fattori di rischio, di cui due riguardano la stabilità del ponte, ed uno quella delle nostre tasche. Parleremo perciò di problemi legati alla sismicità dell'area, alla forte ventosità dello stretto ed alla redditività dell'opera, cioè alla possibilità che, in un tempo ragionevole, i ricavi siano in grado di coprire l'ingente finanziamento necessario.

Prima però è necessaria una breve cronistoria.

Breve cronistoria

1969- viene bandito un concorso di idee per stabilire se e con quali sistemi possa essere effettuato il collegamento stabile tra la Sicilia e la

- Calabria. Partecipano 143 concorrenti. Le soluzioni sono di tre tipi: aeree, in subalveo ed in alveo.
- 1985 - la Società concessionaria, Stretto di Messina S.p.A. (SM), presenta un rapporto di fattibilità che espone le tre soluzioni, per avere il parere di ANAS e FS.
- 1987 - l'ANAS esprime un parere che, confermando la scelta della soluzione *aerea*, rimanda ad ulteriori approfondimenti prima di passare al progetto di massima. Parere simile esprimono le FS e Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (che d'ora in poi chiameremo semplicemente LP).
- 1992 - SM presenta ad ANAS e FS il progetto di massima.
- 1995 - ANAS risponde che, prima di passare alla progettazione esecutiva, sono necessari altri approfondimenti, specialmente per quanto riguarda problemi sismici, aeroelastici e di impatto ambientale. Parere simile, ma con toni più sfumati, viene espresso dalle FS.
- 1997, 30 aprile - SM presenta a LP il progetto di massima, composto di 1.002 disegni e 14.370 pagine di relazioni.
- 1997, 10 ottobre - LP esprime il parere che il progetto di massima "*con le considerazioni, osservazioni e prescrizioni contenute nei 'considerato' possa essere sviluppato in sede di progettazione esecutiva*". La relazione che accompagna questa decisione dell'assemblea del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici è piuttosto sintetica, ma contiene alcune osservazioni che sarebbe, invece, opportuno sviluppare, prima di procedere alla progettazione esecutiva, salvo ritrovarsi ad affrontare investimenti molto più pesanti di quanto preventivato. Ricordo che per l'Alta Velocità le previsioni sono passate dall'ordine dei diecimila a quello dei centomila miliardi e che lo Stato ha dovuto precipitosamente cambiare il tipo di concessione che, come da molti osservato,² lasciava ai privati i profitti ed allo Stato gli oneri. *As usual*.

Caratteristiche strutturali

Il ponte scavalca lo Stretto con una campata unica di 3.300 m, sorretta da un sistema di funi ancorate a due a due torri alte 370 m e larghe alla base 70 m, più due campate di collegamento con le sponde di 192.5 m ciascuna. Il sistema di sospensione è formato da due coppie di funi longitudinali (Ø 1,24 m) che sostengono l'impalcato mediante tendini verticali. Le fondazioni delle torri, profonde circa 55 m, sono interne rispetto alla battigia. Le vie di corsa consistono in due binari ferroviari centrali, affiancati da quattro corsie per parte (sosta, marcia lenta, marcia normale e sorpasso) più una di servizio. Nel senso longitudinale, si tratta di tre strutture separate, una ferroviaria e due autostradali, collegate da grigliati. La larghezza totale è di 60,4 m. Altri due manufatti importanti sono i blocchi di ancoraggio al suolo dei cavi.

Ambiente fisico

Dal punto di vista orografico la zona dello Stretto di Messina è compre-

sa tra l'estremità nord-orientale della catena dei Peloritani, che degrada abbastanza dolcemente da monte Scuderi (1253 m) fino a capo Peloro, e il massiccio montuoso dell'Aspromonte calabro, che invece presenta pendenze molto ripide specialmente sulla costa che si affaccia al Tirreno. Dal punto di vista anemometrico (del regime dei venti) lo stretto si comporta come un imbuto, accelerando le correnti.

La zona, inoltre è soggetta a frequenti eventi sismici, a volte catastrofici.

Dal punto di vista delle strutture, la sismicità dell'area ed i forti venti che percorrono lo stretto sono i problemi più importanti e si sommano a quelli tradizionalmente incontrati nella progettazione e costruzione di strutture di questo tipo, che però non hanno sino ad ora raggiunto le dimensioni di quella in esame.

Problemi sismici

Scelta del rischio accettabile³

La questione rientra nella classica problematica della Sicurezza, disciplina che ha come scopo la analisi razionale dei parametri dei fenomeni aleatori che regolano il comportamento delle strutture (o più in generale dei sistemi) nonché la scelta ragionata, equilibrata e consapevole dei parametri di progetto, onde ottenere adeguate (piccole) probabilità di crisi, o più in generale di un successo è proprio nella precisazione e quantificazione dell'aggettivo *adeguata* ora impiegato che consiste il problema della scelta per rischio accettabile.

In materia di rischio, specie se si tratta della vita umana, siamo spontaneamente portati a desiderare che la probabilità di crisi sia nulla, è comunque la più piccola possibile. Il problema cambia però aspetto quando siamo chiamati a *pagare* (e non solo in termini di denaro) per raggiungere lo scopo suddetto, e quando ci rendiamo conto che la diminuzione del rischio (ovvero l'aumento della probabilità di successo, detta anche *affidabilità* della struttura) si accompagna ad un costo in ascesa. Anche tralasciando tutti casi nei quali, essendo noi a pagare per coprire rischio di altri, siamo (sia pure più delle volte inconsapevolmente) molto severi sul problema del costo, dobbiamo renderci conto che la prassi alla fine ci porta sempre ad accettare un compromesso tra rischio e costo. Un altro fatto posto in evidenza dalla prassi corrente è che, oltre alla diversa valutazione del rischio legata al carattere, la posizione sociale, l'età delle persone, si constata una diversa valutazione, da parte della stessa persona, di rischi diversi; basterà ricordare che molte persone si rifiutano di andare in aereo, ma sono poi disposte a correre rischi molto maggiori viaggiando in automobile.

Spostando il problema dall'ambito personale, e quindi il più delle volte empirico ed emotivo, all'ambito collettivo e quindi scientifico e politico, si tratta di effettuare, in ogni settore, una attenta analisi dei rischi e dei costi e stabilire (ossia scegliere: ecco il momento *politico*) il punto di equilibrio tra questi. È chiaro che tale scelta, proprio perché si collo-

ca nell'ambito collettivo, deve essere il più possibile *coerente* con tutte le altre scelte che si compiono in altri settori.

Torniamo al problema sismico. Dalla magnitudo possiamo passare ad un effetto locale y , ed a questo ad un effetto sulla struttura, ossia x ; quest'ultimo può essere ad esempio assunto quale quota dei carichi verticali da applicare come forza (statica) orizzontale equivalente, detta dalle nostre norme *coefficiente sismico*. Nel caso del ponte le questioni non sono così semplici e calcoli devono essere effettuati in regime dinamico, vista la particolarità della struttura. In linea di principio le statistiche sui terremoti, accompagnate dagli studi sugli effetti locali del terreno, e dalla analisi dinamica della costruzione, ci indicheranno la probabilità $P(x)$ che in un dato periodo il massimo effetto dei terremoti possibili superi un certo livello x . Si definisce *soglia di rischio accettabile* il valore di probabilità \mathbf{P} di $P(x)$ che si decide di assumere nella progettazione, che non corrisponde al crollo e può essere differenziato da una costruzione all'altra.

Come scegliere questa soglia di rischio? Vi sono almeno cinque esigenze da considerare:

1. Salvaguardia delle vite umane
2. dei beni economici
3. dei beni culturali
4. Mantenimento della funzionalità di alcune costruzioni, sia per la natura delle funzioni ordinarie che tale costruzioni assolvono, sia per le funzioni eccezionali alle quali possono essere chiamate nel periodo di emergenza che segue un terremoto distruttivo. Naturalmente il nostro Ponte fa parte di questa categoria di opere e, come vedremo più avanti, l'esigenza del mantenimento della funzionalità deve essere confrontata con i costi necessari per avere una costruzione che resista senza modificare le proprie caratteristiche ad un evento sismico di una certa intensità. All'aumento dell'intensità del sisma si può chiedere alla costruzione di subire soltanto danni di limitata intensità, che limitino la funzionalità, ma possano essere facilmente riparabili. Per sismi che si manifestino con tempi di ritorno dell'ordine delle migliaia di anni, ad una struttura di questo tipo si può chiedere di non subire lesioni così gravi da richiedere la demolizione.
5. Diminuzione dei disagi per la popolazione

Classificazioni dell'intensità di un sisma

Per definire la violenza di un sisma, i sismologi i tracciano una mappa degli effetti verificatesi località per località, oppure si limitano a precisare l'energia meccanica globale messa in gioco nel fenomeno, a seconda degli scopi perseguiti. Nel primo caso gli effetti del terremoto sono descritti da linee dette "isosisme", che congiungono i punti nei quali il sisma ha avuto gli stessi effetti. In altre parole queste linee delimitano zone entro le quali il terremoto ha provocato effetti comparabili. La scala per classificare gli effetti è comunemente detta scala Mercalli, che riportiamo nella tabella seguente nella versione modificata nel 1956.

Tabella 1
SCALA MERCALLI MODIFICATA (1956 DELL'INTENSITA' SISMICA – RICHTER C. F.)

Grado	Denominazione del terremoto	Corrispondenti valori della accelerazione a mm/sec ²	Descrizione
I	Strumentale	< 2,5	Non percepito dalle persone, ma dai soli strumenti sismici.
II	Leggerissimo	2,5 – 5	Percepito da persone in riposo, nei piani superiori delle case o in posizione favorevole.
III	Leggero	5 – 10	Percepito nelle case. Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazione come al passaggio di sutgearri leggeri. Stima della durata. Talora non riconosciuto come terremoto.
IV	Sensibile o mediocre	10-25	Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di autocarri pesanti, o scossa come di una pesante palla che colpisce le pareti. Oscillazione di automezzi fermi. Movimenti di porte e finestre. Tintinnio di vetri. Vibrazioni di vasellami. Nello stadio superiore al IV, scricchiolio di pareti o di strutture in legname.
V	Forte	25-50	Risentito all'esterno; stima della direzione. Sveglia di persone dormienti. Movimento della superficie dei liquidi, versamento da taluni dei Recipienti. Spostamento o rovesciamento di piccoli oggetti instabili. Oscillazione di porte che si aprono e si chiudono. Movimento di imposte e quadri. Arresto, messa in moto, cambiamento del passo di orologi a pendolo.
VI	Molto forte	50 - 100	Sentito da tutti. Spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone in moto. Rottura di vetrine, piatti, vetrerie. Caduta dagli scaffali di ninnoli, libri ecc. e di quadri dalle pareti. Spostamento, o rotazione di mobili. Screpolature di intonachi deboli e di murature tipo D. Suono di campanelli (Chiese, scuole). Stormire di alberi e di cespugli.
VII	Fortissimo	100 - 250	Difficile stare in piedi. Risentito dai guidatori di automezzi. Tremolio di oggetti

			sospesi. Rottura di mobili. Danni alle murature tipo D, incluse fenditure. Rottura di comignoli deboli situati sul colmo Caduta di intonachi, mattoni, pietre, tegole, cornicioni (anche di parapetti isolati e ornamenti architettonici. Qualche lesione alle murature tipo C. Formazione di onde sugli specchi di acqua, intorbidamento delle acque. Piccoli smottamenti e scavamenti in depositi di sabbia e ghiaia. Forte suono di campane. Danni ai canali di irrigazione rivestiti.
VIII	Rovinoso	250 - 500	Risentito nella guida di automezzi. Danni alle murature tipo C, crolli parziali. Alcuni danni a murature tipo B, non tipo A. Caduta di stucchi e di alcune pareti in muratura. Rotazione a caduta di camini, monumenti, torri, serbatoi elevati. Costruzioni con strutture in legname smosse dalle fondazioni se non imbullonate; pannelli delle pareti lanciati fuori. Rottura di palizzate deteriorate. Rottura di rami di alberi. Variazioni di portata o di temperatura di sorgenti e pozzi. Crepacci nel terreno e sui pendii ripidi.
IX	Disastroso	500 - 1000	Panico generale. Distruzione di murature di tipo D, gravi danni a murature tipo C talvolta con crollo completo; seri danni a murature tipo B (danni generali alle fondazioni). Gravi danni ai serbatoi. Rottura di tubazioni sotterranee. Rilevanti crepacci nel terreno. Nelle aree alluvionali espulsione di sabbia e fango, formazione di crateri di sabbia.
X	Disastrosissimo	1000 - 2500	Distruzione di gran parte delle murature e delle strutture in legname con le loro fondazioni. Distruzioni di alcune robuste strutture in legname, con le loro fondazioni- Distruzione di alcune robuste strutture in legname e di Ponti. Gravi danni a dighe, briglie, argini. Grandi frane. Disalveamento delle acque di canali, fiumi laghi, ecc. Traslazione orizzontale di sabbie e argille sulle spiagge e su regioni piane. Rotaie debolmente deviate.
XI	Catastrofico	2500 - 5000	Rotaie fortemente deviate. Tubazioni sotterranee completamente fuori servizio
XII	Molto catastrofico	5000 - 10000	Distruzione pressoché totale. Spostamento di grandi masse rocciose. Linee di riferimento deformate. Oggetti lanciati in aria.

Tipologie murature

- A = Buon manufatto, con malta, costruito su progetto, rinforzato ai lati e legato insieme con ferri, calcestruzzo ecc., progettato per resistere a forze laterali.
- B = Buon manufatto con malta; rinforzato, ma non destinato in particolare a resistere a forze laterali.
- C = Manufatto ordinario con malta; non eccessivamente debole come in mancanza di tiranti agli angoli, ma neppure rinforzato, né destinato a resistere a forze orizzontali.
- D = Materiali deboli, come mattoni cotti al sole; malte povere; manufatto di bassa qualità, debole orizzontalmente.

Per caratterizzare invece l'energia meccanica globale messa in gioco in un terremoto, nel 1934 è stata proposta da C.F. Richter la grandezza "magnitudo", che è una misura dell'energia meccanica E rilasciata alla sorgente rispetto a quella, E_0 , di un terremoto di riferimento:

$$1.5 M = \log_{10} (E/E_0)$$

È interessante notare che un aumento di 1 unità nella classifica secondo la Magnitudo è equivalente ad un aumento secondo un fattore 32 nelle energie.

7.3 Caratteristiche sismiche della zona

Le informazioni tecniche che seguiranno sono in gran parte riprese dalla deliberazione con la quale il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nella seduta del 10.10.97 ha sostanzialmente approvato il passaggio al progetto esecutivo per il ponte sullo stretto di Messina.¹

La zona sismo-tettonica dello Stretto di Messina risulta caratterizzata da un'elevata sismicità, sia storica che attuale, con epicentri maggiormente addensati verso l'estremità settentrionale della zona stessa: in essa sono avvenuti 306 terremoti dal 1978 al 1986 (periodo di misure strumentali), e la più importante fenomenologia sismica locale è costituita dallo sciami sismico verificatosi tra il 13 e il 14 maggio 1985, con magnitudo massime di 4,1.

Il terremoto assunto come riferimento è quello disastroso del 28.12.1908 (intensità massima XI MCS,² massima magnitudo strumentale 7,1, meccanismo focale relativo ad una faglia orientata a circa N-S). Attraverso leggi di attenuazione ed interpretazioni probabilistiche si è poi stabilita la massima accelerazione orizzontale del terreno (PGA) da considerare nei calcoli strutturali:

$$\begin{aligned} \text{PGA} &= 0,64 \text{ g,} \\ \text{tempo di ritorno} &= 2000 \text{ anni,} \\ \text{g} &= \text{accelerazione di gravità.}^3 \end{aligned}$$

La Società per il Ponte però ha ritenuto di diminuire PGA di circa il

10% portandolo a 0,58 g. La componente verticale dell'accelerazione è considerata uguale, come valore, a PGA.

Specifiche progettuali

Per quanto riguarda i problemi sismici, le specifiche sulla cui base viene sviluppato il progetto di massima risentono della tipicità e che dell'eccezionalità dell'opera e, pertanto, non risultano riconducibili nell'ambito di metodologie e prassi di progettazione relative a manufatti di tipo usuale.

In particolare si ricorre al metodo semiprobabilistico agli stati limite, con analisi dei possibili scenari di danno e dei relativi rischi, per procedere al dimensionamento della struttura del ponte, sia per gli impalcati, che per le pile e le fondazioni. Soltanto i criteri di verifica di dettaglio, concernenti i singoli elementi costruttivi, rientrano nelle normative tradizionali.

Ai fini delle verifiche di prestazioni, sia in termini di resistenza che di esercizio, si sono distinti tra livelli di verifica, ciascuno relativo, con riferimento alle azioni riconducibili all'ambito statistico, ad un diverso periodo di ritorno:

- 1 - Livello *Normale*: tempo di ritorno pari a 50 anni;
- 2 - Livello *Eccezionale*: tempo di ritorno pari a 400 anni;
- 3 - Livello *Estremo*: tempo di ritorno pari a 2000 anni.

Per quanto riguarda le combinazioni che possono verificarsi per ciascun livello di verifica, sono state considerate le numerose combinazione di azioni di danno che di sollecitazione, secondo il metodo probabilistico.

In relazione a tali livelli di verifica sono individuati dei livelli prestazionali e stati limite di servizio:

- 1° Livello - Per eventi frequenti ogni anno, viene richiesto che le strutture consentano il soddisfacimento ottimale di tutte le esigenze di servizio; per eventi che possono ripetersi sporadicamente in 50 anni viene richiesto che l'esercizio possa svolgersi, sia pure al limite dell'accettabilità.
- 2° Livello - Al momento dell'evento le strutture devono garantire che i convogli ferroviari non sviino né si ribaltino; al termine dell'evento l'esercizio riprende con eventuali temporanee limitazioni di velocità, ma con le stesse caratteristiche del livello 1 (tempo di ritorno 400 anni).
- 3° Livello - La struttura può accusare danni anche gravi, ma non il collasso, con l'interruzione del servizio fino al completamento delle necessarie riparazioni (tempo di ritorno 2000 anni).

7.4 I rilievi del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pur affrontando questo progetto con un'ottica non certo ostile, il Con-

siglio Superiore dei Lavori Pubblici (1997) non ha potuto esimersi dal formulare una serie di critiche piuttosto pesanti, che però non gli hanno impedito di esprimere parere favorevole alla prosecuzione della progettazione. Nel seguito ne esponiamo alcune:

- Geotecnica:⁴ le elaborazioni finali, pur se ben supportate da adeguate tecniche di interpretazione, sembrano condurre a schematizzazioni eccessivamente semplificate non correlate né alle effettive caratteristiche locali né al comportamento di insieme dei terreni. E poi:⁵ sembra in particolare mancare il sostegno di un completo inquadramento geologico e geomorfologico preliminare, indispensabile a sostenere e indirizzare l'interpretazione dei risultati delle indagini al fine di una completa modellizzazione geotecnica.
- Geologia e geomorfologia:⁶ gli studi geologici e geomorfologici, per come sono stati presentati, non sembrano comunque concorrere in modo efficace alla ricostruzione di una modellazione stratigrafica preliminare indispensabile per una corretta interpretazione dei dati geotecnici e vanno pertanto ripresi ed elaborati.
- Problemi sismici:⁷ la collocazione del ponte ricade in una zona ad "altissima sismicità". L'accelerazione massima al suolo considerata per il progetto delle strutture è 0,58 g, ma invece si deve considerare il valore 0,64 g, uguale a quello inizialmente assunto nel 1985, poi ridotto dalla SM. Estremamente utile⁸ risulterebbe, in ogni caso, un'analisi della sensibilità degli effetti sull'opera al variare dei valori assunti per le accelerazioni sismiche di progetto. Inoltre si sottolinea l'importanza di un ulteriore approfondimento degli studi tesi a chiarire l'assetto strutturale della zona, la eventuale presenza di faglie attive e non sismogenetiche e la conseguente possibilità di movimenti differenziali. Si osserva inoltre che il terremoto del 1908 ha prodotto, per lo spostamento della faglia sismogenetica nel tratto off-shore, un maremoto che ha causato migliaia di vittime. Andrebbe valutato tale fenomeno sulle zone di impianto delle torri. Anche per quanto attiene frane e liquefazione, si pone l'accento sul fatto che un terremoto delle proporzioni di quelle stimate potrebbe avere molte ripercussioni sull'ambiente fisico. Il terremoto di Kobe, per esempio, ha prodotto estesi fenomeni di liquefazione e frane in un vasto contorno. In relazione all'assetto geologico e geotecnico delle aree di ancoraggio e di fondazione delle torri andrebbe ulteriormente approfondita la possibilità del verificarsi di tali fenomenologie e del loro impatto.

7.5 Conclusioni

Sulla base delle precedenti considerazioni il CSLLPP conclude che le strutture del ponte dovranno essere riprogettate per far fronte ad un top event che comporta un'accelerazione del 10% superiore a quella di progetto, con possibili problemi strutturali e sicuri aggravati di costo. La

sottovalutazione del problema delle frane e della liquefazione dei terreni di fondazione, che potrebbero verificarsi in seguito al top event, pone poi importanti interrogativi in merito alla possibilità dell'opera di superarlo senza danni irreparabili.

Si deve tener presente che ogni grado di rotazione del basamento delle torri comporta una traslazione della sommità pari a 6,45 metri (come componente orizzontale).

Per quanto mi riguarda, vorrei sottolineare che vi sono incertezze dovute al tempo di ritorno di un sisma di gravità simile a quello che nel 1908 ha devastato Messina: per autorevoli esperti è di 1000 anni⁹ invece dei 2000 considerati dai proponenti.

La questione non è di poco conto: con un TR di 2000 anni la condizione è che la struttura, pur con qualche danno, possa uscire dal campo elastico, mentre con un TR di 400 anni deve rimanere nel campo elastico. Se è vero che un terremoto come quello di Messina ha un TR di 1000 anni, allora ci si avvicina più alla seconda che alla prima condizione, cioè la struttura deve rimanere in campo elastico. Detto in altri termini, la possibilità di resistere ad azioni sismiche deve essere molto maggiore, con i conseguenti aggravamenti di costi ed ammesso che ciò sia possibile.¹⁰

Problemi aeroelastici

Già il parere dei consulenti ANAS del 25.7.95 era molto chiaro al riguardo:¹¹

“Per un ponte sospeso a campata unica di 3.300 m di luce, l'interazione con le forti correnti eoliche presenti nella zona dello stretto, costituisce l'elemento più vincolante della progettazione a causa dei temibili problemi di instabilità aeroelastica e delle consistenti deformazioni dovute all'azione aerodinamica del vento Si raccomanda di verificare ulteriormente la stabilità dinamica da flutter”.

Prima di proseguire è opportuno rendersi conto degli effetti che può avere il vento su un ponte sospeso. L'esempio è il celeberrimo (per chi si occupa di questi problemi) Tacoma Bridge, crollato nel 1940 per instabilità dovuta al vento.

Dopo questo episodio è evidente che lo studio dei fenomeni di instabilità dovuti al vento è diventato una necessità ineludibile per questo tipo di strutture e coinvolge sia le condizioni al contorno (direzione, frequenze, velocità, tipo di raffiche ecc.) che le risposte strutturali dal punto di vista statico e dinamico.¹²

Condizioni anemometriche

La speciale configurazione orografica dello stretto determina condizioni meteorologiche particolari, a causa della confluenza delle correnti aeree, delle imponenti formazioni nuvolose, delle manifestazioni temporalesche e delle frequenti ed abbondanti piogge.¹³ Il vento si orienta con una componente preferenziale nord sud e tende ad accele-

rare nel muoversi verso la parte settentrionale dello stretto. La componente settentrionale forma i venti più forti e più frequenti nel settore nord-ovest, provenienti dalla “porta del Mistral” intorno a Marsiglia, con effetti più violenti quando si sommano i venti di nord est provenienti dalla “porta di bora” intorno a Trieste: allora si possono raggiungere velocità intorno a 80 nodi (1 nodo = 1,85 km/h = 5,14 m/sec).

La componente meridionale forma i venti sciroccali, più frequenti e persistenti in inverno e primavera, con raffiche di 55 nodi; i venti di Libeccio possono durare a lungo, arrivare a 60 nodi e portare, spesso, le piogge.

Per determinare il “vento di progetto” si è dovuto ricorrere ad indagini statistiche relative a varie stazioni meteorologiche, che però riguardano misure piuttosto recenti e si è arrivati, mediante estrapolazioni, ad indicare come velocità massime di progetto alla quota dell’impalcato, relative a tempi di ritorno e tipi di risposte della struttura analoghi a quelli considerati per i fenomeni sismici, indicate nella seguente tabella:¹⁴

Tempo di ritorno (anni)	Velocità del vento (m/sec)
50	48
400	56
2000	62

Tabella 2 : venti di progetto – quota impalcato

Sono state inoltre valutate le frequenze medie annuali.

Per l’area tirrenica risultano 32-33 giorni di vento *forte* o *fortissimo* con le maggiori frequenze così distribuite:

Direzione	n.giorni
NO	9,9
O	6,7
SE	6,2
SO	3,9

Tabella 3: direzione e durata di vento forte o fortissimo. Area tirrenica

Per l’area ionica invece risultano 35-36 giorni di vento *forte* o *fortissimo* con le maggiori frequenze così distribuite:

Direzione	n.giorni
O	11,5
NO	8,5
SE	7,5

Tabella 4: direzione e durata di vento forte o fortissimo. Area ionica

Questi dati indicano che, mediamente, il ponte sarà ogni anno intransitabile per un periodo superiore al mese. Viene inoltre ricordato l'episodio avvenuto nel 1966 a Catania: una tromba d'aria distrusse 23 tra aerei ed elicotteri in sosta presso l'aeroporto. Mentre la velocità radiale delle particelle può raggiungere centinaia di km/h, la velocità del tornado è molto più lenta, si parla di 60 km/h.

Risposte statiche e risposte dinamiche

In campo statico la pressione del vento viene schematizzata come un carico distribuito che agisce in senso orizzontale; in campo dinamico invece è molto delicata la verifica progettuale della risposta al vento turbolento, che viene esaminata secondo vari tipi di problemi:

- instabilità flessionale o torsionale dell'impalcato;
- instabilità tipica dei profili alari (flutter) che nasce da una combinazione dei due precedenti modi di oscillare (flessione e torsione);
- eccitazione dovuta al distacco dei vortici sull'impalcato e sulle torri, con possibili effetti di risonanza;
- eccitazione aerodinamica dovuta alla turbolenza: la velocità del vento non è costante e questo genera oscillazioni del ponte attorno alla deformata media dovuta al vento stesso.

Problemi di percorribilità

Sempre dalla relazione del CSLLPP¹⁵ si evince che la percorribilità stradale dipenderà in primo luogo dall'entità e dalla direzione dei venti che spirano sulla piattaforma d'estradosso del ponte e, specie in condizioni sfavorevoli di pioggia battente o di nebbia, anche dalla risposta dell'impalcato. Devono poi considerarsi gli scarichi circolanti, in termini di configurazione geometrica e plano-altimetrica risultante.

Dalle conoscenze ed esperienze disponibili emerge che per i veicoli, sia leggeri che pesanti, non si verificano problemi gravi di percorribilità fino a valori della componente trasversale della velocità dell'ordine di 20 m/s. Per alcuni veicoli leggeri, come le roulotte e i campers, la componente trasversale diretta, invece, inizia ad esercitare effetti sensibili già intorno ai 15 m/s.

Dai dati esposti dai progettisti si rileva che vi sono almeno 26 giorni all'anno e in cui la velocità del vento raggiunge e supera i 15 m/s, per una durata media di circa quattro ore, mentre durante 4 giorni all'anno il vento raggiunge e supera i 20 m/s.

La relazione sottolinea che non deve essere trascurata l'eventuale interruzione o parzializzazione della transitabilità sul ponte, qualora non fossero più verificate le minime condizioni necessarie e sufficienti a garantire la sicurezza di circolazione.

Ciò significa che durante le ore di interruzione o di parzializzazione del traffico sul ponte, che dovrebbero essere opportunamente previste e poi segnalate con congruo anticipo, dovrebbe anche essere previsto un servizio alternativo (in tal caso di traghettamento).

Dovrebbe pertanto - continua la relazione - essere individuato un valore ammissibile del coefficiente di utilizzazione del sistema di attraversamento in termini di ore di sicuro esercizio e di ore a traffico limitato o bloccato, rispetto alle ore totali di un anno generico, compresa nella vita utile del ponte.

Il relatore non lo sottolinea, ma è comunque evidente che sia l'eventuale periodo di non percorribilità del ponte che la necessità di prevedere trasporti alternativi su traghetti incidono pesantemente sui conti economici.

Aspetti economici e finanziari

Sempre dalla relazione del CSLPP¹⁶ riportiamo integralmente alcuni passi relativi ai problemi economici:

- *“È stato apertamente dichiarato, più volte, che lo studio redatto dai progettisti si è sviluppato nell’ottica di pervenire ad una giustificazione di tipo sociale e non di tipo finanziario. I risultati dello studio sono stati pertanto presentati senza enucleare, in forma specifica, gli aspetti più propri di una valutazione finanziaria.*
- *Sebbene siano stati previsti, come parte integrante del sistema di attraversamento, i sistemi tecnici di esazione del pedaggio, sembra però non chiaramente definito il tipo e l’entità del pedaggio previsto, limitandosi genericamente la valutazione economica del medesimo alla dichiarazione di non considerare variati i costi di attraversamento per gli utenti rispetto agli attuali corsi di traghettamento, e neanche è stata eseguita un’analisi di sensibilità dei possibili ricavi da pedaggio nei riguardi dello sviluppo del traffico, cercando di cogliere, ad esempio, un valore ottimo da imporre come pedaggio, che possa produrre il massimo soddisfacimento della domanda ed il miglior utile per il gestore. Mentre si è riconosciuto - da parte dei progettisti - che il costo sostenuto dagli utenti per l’attraversamento con il ponte diverrà superiore rispetto l’attuale (mediamente il tragitto è più lungo di almeno circa 30 chilometri tra i maggiori poli di interesse), considerati i consumi di carburante dovuti al maggiore sviluppo stradale che si sostituisce al percorso misto strada-mare e gli eventuali maggiori costi per pedaggi rispetto all’attuale valore dei titoli di traghettamento.*
- *D’altra parte non vi è traccia alcuna di un piano finanziario, redatto in modo che possa consentire di valutare correttamente il loro ruolo*

- nella posizione occupata dall'Ente concessionario dell'opera, la cui attività è assicurata - in regime di concessione - dalla riscossione di un pedaggio, ipotizzato diverso per tipologie di utenze (almeno 5 classi di veicoli) e soggetto, nel tempo, ad una variabilità tariffaria, in funzione dell'avvicinamento degli scenari politici ed economici che accompagnano sempre e evoluzione storica della nazione e, più generale, quella dell'intera Europa comunitaria. Per come è stato affrontato lo studio, sembrerebbe sostanzialmente trattarsi di accettare l'imposizione di un pedaggio d'efficienza più che l'imposizione di un pedaggio di vero e proprio finanziamento. Si tratta quindi di un pedaggio che consentirebbe di sanare le spese di manutenzione ordinaria e straordinaria e di mantenimento del personale addetto alla gestione dell'opera da attraversamento, lasciando al contributo dello Stato l'onere irremunerativo della progettazione e della costruzione dell'opera. Né è stata menzionata l'incidenza di eventuali contributi a fondo perduto da trovare sul mercato finanziario con mutui ordinari a tasso agevolato, ciò significando che il finanziamento dell'opera - in difetto di codesti sostegni finanziari - dovrebbe essere completamente sostenuto tutto dagli utenti, attraverso l'imposizione di un pedaggio di finanziamento.*
- *Si è quindi del parere che per raggiungere, anche nel caso del sistema di attraversamento dello stretto di Messina, un elevato livello decisionale sulle opportunità di investimento necessarie per passare poi alla realizzazione ed alla successiva fase di manutenzione e gestione dell'opera, si debba pervenire, in forma comprensibile, alla enucleazione di un piano finanziario che preveda, a per diverse ipotesi temporali di esercizio, lo sviluppo articolato delle diverse componenti del piano.*
 - *Si ritiene infatti che poco potrebbe valere una convalida puramente tecnica delle opere previste in progetto, se non fosse questa sostenuta pienamente da un'altrettanta esauriente verifica di reale e non di virtuale redditività degli investimenti connessi alla realizzazione e gestione dell'attraversamento nel tempo”.*

7.6 Le contraddizioni del Presidente del Consiglio Superiore

La relazione del CSLLP è stata chiarissima sulle questioni economiche, quindi abbiamo accolto con certo stupore un articolo del prof. Misiti, che del Consiglio Superiore era allora il presidente, apparso un anno dopo la relazione.¹⁷

Poiché in questo articolo Misiti sostiene tesi diametralmente opposte, nel campo economico, rispetto a quelle contenute nella relazione, sono costretto a citarle letteralmente.

“Gli aspetti economici.

Il costo complessivo (stimato in base al valore della lira 1997), com-

prensivo di imprevisti, spese tecniche e generali, è stato valutato in circa 5 mila 100 miliardi per il ponte e le sue pertinenze fino alle barriere di esazione, più 2 mila 100 miliardi per i collegamenti viari e ferroviari fino all'infrastrutture esistenti in Sicilia e Calabria.

Questa stima ai risultato di un'accurata ricerca di mercato, dell'aggiornamento delle offerte di imprese altamente specializzate nel settore e dell'esperienza acquisita dalle aziende italiane che hanno partecipato, in Danimarca, alla realizzazione del ponte sospeso sul Grande Belt, che con i suoi mille 620 metri di luce della campata centrale è il secondo ponte più lungo del mondo. Le previsioni del traffico futuro in presenza del ponte in sono state elaborate con criteri rigorosi e ipotesi prudenziali, da cui si è ricavato uno scenario attendibile e certamente superabile che conduce al raddoppio dei volumi di traffico in circa trent'anni.

Oltre allo scenario attendibile appena richiamato, si è valutato uno scenario di minimo prudenziale, sulla base del quale si è condotta la analisi costi benefici dell'investimento. Quest'ultima, elaborata secondo i criteri di valutazione normalmente adottati dagli organismi finanziari internazionali, ha tenuto conto dei costi di investimento e di esercizio connessi con l'insieme costituito dal ponte e dai collegamenti stradali e ferroviari e dei benefici diretti ed indiretti che derivano dal confronto tra lo scenario con ponte e quello senza ponte.

Malgrado la analisi economica sia stata condotta assumendo l'ipotesi più sfavorevole di previsioni di traffico e trascurando una molteplicità di benefici importanti ma non direttamente monetizzabili, i risultati confermano la convenienza economica dell'iniziativa dal punto di vista generale del beneficio per la collettività. Nello scenario potenziale, senza effetto metropolitano (e cioè di integrazione metropolitana tra le città dello Stretto), si ottiene un saggio di rendimento economico prossimo all'8% mentre in presenza di effetto metropolitano lo stesso saggio risulta superiore al 10%.....

La fattibilità finanziaria dell'iniziativa è stata anch'essa analizzata con ipotesi prudenziali per verificare la possibilità di ricorrere anche a capitali privati nazionali ed internazionali, sia di rischio che di prestito. Sono state formulate ipotesi di piano finanziario calibrate su differenti scenari sia di traffico sia tariffari.....

I risultati ottenuti mostrano che l'investimento per la realizzazione del ponte e delle sue pertinenze fino alle gare di esazione può autofinanziarsi attraverso il pedaggio in una percentuale che può raggiungere il 90%, assicurando rendimento capitale investito in linea con l'andamento del mercato”.

Nella relazione del CSLLPP, di cui il professor Misiti è presidente, si sottolineava come il pedaggio avrebbe consentito al massimo di sanare le spese di manutenzione e di mantenimento del personale lasciando al contributo dello Stato l'onere irremunerativo della progettazione e della costruzione dell'opera”¹⁸.

Cos'è successo per far cambiare così radicalmente idea al Presidente?

Per quanto riguarda il costo di cinquemila miliardi per il ponte, ricordo quanto affermato dall'allora sottosegretario ai trasporti, on. Pino Soriero, nel suo intervento di apertura del seminario sulla VIA del ponte, il 31.8.1998:

- la documentazione presentata per la procedura di VIA è incompleta;
- il progetto esecutivo dovrebbe costare tra gli 800 e i 1000 miliardi.

Si è poi saputo, infatti, che la società proponente ha ritirato lo Studio di impatto ambientale presentato al Ministero dell'ambiente. Ciò significa che questo studio deve essere aggiornato e migliorato con costi non certamente lievi, ai quali si dovrà aggiungere l'onere per compensazioni e mitigazioni, che non sarà certo leggero, visto le devastazioni territoriali ed ambientali che non tanto il ponte, quanto le rampe di accesso della lunghezza di decine di chilometri comporteranno.

Quanto al costo del progetto esecutivo, pur precisando che si tratta di un'opera certamente eccezionale, ricordo che le tariffe fissate dall'Ordine degli Ingegneri per un ponte del costo di 5 miliardi, sono largamente al di sotto del 5% e comprendono progetto di massima, computo e direzione dei lavori, oltre al progetto esecutivo. Per il ponte sono già state spese centinaia di miliardi per gli studi preliminari, non siamo ancora nella fase di progetto di massima, quindi non è azzardato stimare che le spese di progettazione esecutiva e direzione lavori non saranno inferiori ai 1500 miliardi (stima largamente approssimata per difetto). È possibile che le spese tecniche per la costruzione di un'opera del genere siano dell'ordine del 30%?

È molto più verosimile pensare, come da molti sostenuto, che il ponte costerà molto di più di quanto sostenuto dalla società proponente, visto anche che proprio la Commissione presieduta da Misiti ha imposto alla società proponente di riprogettare l'opera per un'accelerazione sismica superiore del 10% rispetto ai dati di progetto, e che il progetto deve adeguarsi a parecchie altre normative.

Già vi sono seri dubbi, per non dire certezza, che le entrate di pedaggio riescano a coprire solo i costi di manutenzione e di gestione.

Il rischio di uno sfondamento dei costi e della necessità che lo Stato si faccia carico degli ingentissimi oneri necessari per la costruzione e la gestione di quest'opera è molto forte.

Note

¹ Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Relazione approvata dall'Assemblea del 10.10.1997.

² V. tabella 1.

³ Si avrebbe quindi un'accelerazione al suolo di 6272 cm/sec², caratteristica di un sisma di grado XII della scala MCS.

⁴ Cit., p.148.

⁵ Cit., p.149.

⁶ Cit., p.151.

⁷ Cit., p.153.

⁸ Cit., p.156.

⁹ Valensise G.L., Pantosti D., "A 125 Km-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7 1/2)", *Terra Nova*, 4, 472-483.

¹⁰ P.Rabitti, "Ponte sullo Stretto: su nuove incertezze un mancato confronto con i promotori," *Il Giornale dell'Ingegnere*, n. 19, 15 novembre 1998.

¹¹ Cit., p.13.

¹² Vorrei precisare che l'esempio riportato è a puro scopo didattico.

¹³ Cit., p.32.

¹⁴ Cit., p.34.

¹⁵ Cit., pp.189 sgg..

¹⁶ Cit., pp. 207 sg..

¹⁷ A.Misiti, "Il Ponte sullo Stretto", *Le Scienze*, n. 362, ottobre 1998.

¹⁸ Cit., p.209.

Riferimenti bibliografici

Marsili G., *La valutazione del rischio di incidente rilevante*, Piccin Editore, Padova.

Bettini V., Cancelli C., Galantini R., Rabitti P., Tartaglia A., Zambrini M., *Alta Velocità - Valutazione economica, tecnologica e ambientale del progetto*, Cuen, Napoli, 1977.

Castellani A., *Calcolo di strutture in zona sismica*, Masson Italia, Milano, 1977.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Relazione approvata dall'Assemblea del 10.10.1997 sul progetto di massima del Ponte sullo Stretto di Messina.

Valensise G.L., Pantosti D., "A 125 Km-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7 1/2)", *Terra Nova*, 4, 472-483.

Rabitti P., "Ponte sullo Stretto: su nuove incertezze un mancato confronto con i promotori", *Il Giornale dell'Ingegnere*, n. 19, 15 novembre 1998.

Misiti A., "Il Ponte sullo Stretto", *Le Scienze*, n. 362, ottobre 1998.

Capitolo 8 - Scenari di rischio sismico nell'Area dello Stretto

di Teresa Crespellani

8.1

Vi sono due modi di intendere la sfida dell'uomo nei confronti dei terremoti. Il primo consiste nel considerare la difesa dai terremoti come modo per garantire condizioni di vita rassicuranti alle persone e alla collettività. E' quindi qualcosa che si riferisce alla convivenza, allo stare insieme, che viene incontro ai bisogni e agli interessi della città e che è, soprattutto ed essenzialmente, 'prevenzione' come possibilità di vita.¹ Il secondo modo consiste nella sfida come *potere*; una sfida che, quando si tratta di opere ingegneristiche eccezionali che ricadono in zone altamente sismiche, può assumere i caratteri della "dismisura faustiana" e garantire primati e mercati. Una sfida che in quanto funzionale a obiettivi di mercato può quindi divaricarsi dagli interessi della città e addirittura porsi in conflitto con i suoi bisogni e le sue aspettative. Nel caso del Ponte sullo Stretto il dubbio che la sfida abbia questa seconda connotazione è molto forte. Non solo perché finora non è stata comprovata con solidi argomenti la sua effettiva utilità in termini di rispondenza alle esigenze sociali e di sviluppo delle popolazioni interessate, ma anche perché in alcuni recenti articoli tecnico-scientifici² viene enfatizzata ed esaltata la capacità di quest'opera fuori misura di sfidare con assoluta sicurezza l'evento sismico di magnitudo 7 atteso nell'area, con toni così trionfalistici che in chi ha qualche familiarità con l'ingegneria sismica non possono che destare sospetto e inquietudine.

L'ingegneria sismica è, infatti, notoriamente, una disciplina umile, che ben sa che "tra le maglie degli algoritmi sfuggono una quantità di effetti incontrollati che coinvolgono un settore molto più vasto che non quello della semplice risposta strutturale",³ una disciplina che coniuga successi e fallimenti, vittorie e sconfitte, e che anche nei paesi più attenti al problema della protezione sismica, subisce smacchi, spesso clamorosi, ad ogni evento sismico. Perciò il trionfalismo e il linguaggio della 'certezza' appaiono stonati, e forse più appropriati alla vendita di un prodotto che a convincere della bontà delle soluzioni tecniche, e tantomeno sono indicativi di un'attenzione ai bisogni di sicurezza della società, che - è bene sottolinearlo - più ancora che bisogno di sicurezza fisica sono bisogno di appartenenza a un territorio, di conservazione dei legami con la memoria, aspirazione a una possibilità di futuro personale e collettivo, desiderio di trasmettere alle generazioni future valori culturali e identitari.

Ciò che più preoccupa è la separazione del problema della sicurezza del Ponte sullo Stretto da quello della sicurezza sismica del territorio. Come ben si sa, il luogo geografico in cui il Ponte si colloca è dal punto di vista ambientale delicatissimo e ad altissimo rischio. Chiunque si ponga in un'ottica complessiva deve perciò misurarsi col fatto che uno dei problemi più gravi che si pone per le popolazioni della Calabria e di quella parte della Sicilia interessata dal Ponte, è quello della pericolosità sismica del territorio e della vulnerabilità dei suoi abitati, delle sue strutture civili, delle sue attività produttive, delle infrastrutture, delle sue risorse paesaggistiche.

Appare perciò lecito interrogarsi se, separando il problema del Ponte dalle aspettative di sicurezza, dai progetti e dai bisogni di una collettività, non si stia esercitando una forma di *potere sulla città* facendo prevalere ragioni politiche, culturali, simboliche, ad essa esterne, e sovrachianti rispetto alle esigenze prioritarie della società.

Invertire il senso del discorso per vedere se partendo dai problemi aperti in tali regioni si incontra il Ponte come soluzione primaria è quindi essenziale, anche per capire se si è disposti ad accettare quel rischio di insuccesso durante i terremoti massimi attesi, che seppure comprimibile, è inevitabilmente associato alla realizzazione di ogni opera ingegneristica in zona sismica.

8.2

Spostando lo sguardo dal Ponte sullo Stretto ai territori circostanti, e facendo riferimento alle conoscenze sulla sismicità storica di queste regioni, è possibile svolgere alcune considerazioni sugli effetti di un sisma distruttivo di intensità pari a quelli verificatisi negli ultimi trecento anni nella Sicilia orientale e in Calabria, tenendo presente che, come ormai chiaramente comprovato da studi specifici e ben documentati, le

nostre città sono oggi molto più vulnerabili che nel passato, non solo perché più densamente abitate, ma perché la complessità tecnologica le ha rese incomparabilmente più fragili. La vita dei centri urbani dipende infatti in modo precipuo dalle reti di trasporto dell'energia elettrica, dell'acqua, del gas, dalle infrastrutture stradali e ferroviarie, dalle reti di telecomunicazione e di informazione, sistemi che sono spesso i primi a collassare durante i terremoti violenti, specie se si trovano in condizioni di arretratezza o di scarsa manutenzione.

Come è stato osservato da molti studiosi e statisti, la storia recente del Mezzogiorno d'Italia è stata fatta anche dai terremoti.⁴ Sismi, frane, disboscamento, emigrazione sono fra le cause modificatrici della storia locale della Calabria e della Sicilia, cause spesso tra loro interconnesse, perché i terremoti colpiscono persone e beni materiali, attività produttive e mezzi di produzione, sconvolgono l'economia e il territorio, attivando dinamiche di degrado, cancellando identità, memoria, appartenenza.

Stando ai dati forniti dal catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980⁵ oltre la metà degli eventi sismici italiani più disastrosi sono concentrati nel Sud della penisola e in Sicilia a partire dalla fine del XVII secolo. Gli eventi sismici che hanno colpito la Sicilia nel 1693, la Calabria nel 1783 e la Sicilia nel 1908, sono stati in assoluto i terremoti di più elevata potenza e violenza distruttiva occorsi in Italia (magnitudo maggiore di 7 e intensità MCS pari a XI).

Per questo motivo, tutti i 409 comuni della Calabria sono classificati sismici. Di essi 147 ricadono nella 1^a categoria e tra essi sono compresi tutti i 97 comuni della Provincia di Reggio Calabria. Nella Provincia di Messina sono stati classificati sismici 107 comuni, di cui 6, tra cui Messina, di 1^a categoria.

Ma alla severità dei terremoti che possono attendersi nell'area, si aggiungono molti altri fattori che accrescono enormemente il rischio sismico delle due regioni nell'area dello Stretto: la possibilità di maremoti, di movimenti franosi, di fenomeni di liquefazione del terreno, di subsidenza. L'attività sismica è continua e soprattutto a margine dei grandi eventi le sequenze di terremoti minori si succedono per anni, dando luogo a forme di disastro strisciante, con continui dissesti dei terreni, delle costruzioni, che esasperano le popolazioni accrescendo condizioni di disagio e di sofferenza, e prolungando indefinitamente nel tempo il ritorno alla normalità.

Il bilancio dei tre grandi terremoti storici degli ultimi 300 anni è sconvolgente. Il terremoto di Catania del 1693 distrusse totalmente 25 centri urbani danneggiandone gravemente 32 e produsse 39.000 morti, di cui 16.000 (il 64% della popolazione) nella sola Catania. Secondo le stime della Protezione Civile e dei ricercatori del CNR-GNDT impegnati nel "Progetto Catania"⁶ un terremoto di pari caratteristiche oggi a Catania ne provocherebbe oltre 60.000.

Il terremoto della Calabria del 1783, noto come il "grande terremoto calabro" (epicentro nella zona di Gioia Tauro, con una scossa principa-

le della durata eccezionale di due minuti) e definito dagli scrittori di allora “Iliade funesta” ha registrato 30.000 morti ed è stato forse il più imponente terremoto italiano per estensione, durata ed effetti sul territorio. Il bilancio del disastro è impressionante: 183 paesi (su 391) completamente distrutti, 91 inabitabili, i rimanenti con notevoli danni, e totalmente isolati per un lungo periodo. Al terremoto si aggiunse un forte maremoto e una sequenza di scosse talora anche di forte intensità per oltre tre anni. Tra gli aspetti più rilevanti di questo terremoto vi sono i grandi dissesti del territorio descritti da molti testimoni dell'epoca. Uno di essi racconta, ad esempio, che nella piana sud-orientale di Gioia Tauro⁷ “...si produssero sconvolgimenti del suolo tali da mutare in modo stabile l'aspetto del terreno... secondo la pendenza del suolo avvennero o spostamenti istantanei di masse, oppure lenti scivolamenti dei materiali superficiali addossati al cristallino, per i quali insieme al terreno furono trasportati gli alberi secolari che vi erano impiantati ...quest'ordine di fenomeni fu la causa precipua della produzione di laghi...” E' da notare a questo proposito che furono circa 200 i laghi formati per effetto di fenomeni di liquefazione del terreno e che per il loro prosciugamento e bonifica furono impiegati per sei anni oltre 2000 operai. Un altro testimone⁸ scrive: “con nostra sorpresa in luogo di una grande pianura, che dianzi vi esisteva incontrammo un ruinoso rivolgimento di sabbia e di arena. Erasi squarciato l'antico suolo, e con opposta rivoluzione una parte di esso si era profondamente depressa, e un'altra elevandosi, era cresciuta in modo tale che, tra la depressione e l'elevazione erasi formato un angusto e tortuoso guado in mezzo a due grandi e ruinosi massi d'arena. Ciò che noi credemmo a prima vista un'avventura particolare e circoscritta, tosto vedemmo che era un'alterazione, divenuta comune a tutta l'antica pianura e ciò in una estensione molto significativa”....

Le cifre del terremoto di Messina del 28 dicembre 1908 (consistito in una scossa di inaudita violenza seguita da un terribile maremoto che spazzò via Reggio e Messina) sono terrificanti: oltre 90.000 vittime, 5576 abitazioni distrutte a Messina (su 7800) con la totale scomparsa dell'antica città, 3460 abitazioni distrutte a Reggio Calabria (su 3636).⁹ Sono cifre che parlano da sole.

Ma gli effetti distruttivi dei terremoti che possono verificarsi nell'area non sono solo legati alla violenza delle scosse e ai maremoti. Come dimostrano le conoscenze sull'assetto geomorfologico e sulle proprietà dei terreni e sullo stato delle costruzioni, gli effetti rovinosi di questi terremoti sono intimamente legati ad altre due importanti categorie di fattori: la natura dei siti e dei depositi più superficiali da una parte, e la vulnerabilità delle costruzioni e dei sistemi urbani dall'altra.

Come messo in luce da Peruzza et al.¹⁰ nell'area calabro-messinese si possono attendere su terreno roccioso picchi di accelerazione molto alti (dell'ordine di 0.36 g), ma questi valori possono essere ulteriormente amplificati in corrispondenza di particolari situazioni morfostratigrafiche e geotecniche, dando luogo a fenomeni spettacolari di col-

lasso generalizzato del terreno e/o delle sovrastanti costruzioni o infrastrutture.

I fenomeni di sconvolgimento del suolo, osservati nel grande terremoto calabro del 1783 e sopradescritti, sono oggi molto ben conosciuti nella letteratura geotecnica,¹¹ e appartengono a una classe di fenomeni legati alla liquefazione dei depositi sabbiosi sciolti saturi e particolarmente distruttivi. La liquefazione comporta infatti una totale perdita di capacità portante dei terreni che coinvolge anche le costruzioni più resistenti all'azione sismica con manifestazioni molto varie per natura ed estensione: abbassamenti e sollevamenti del terreno, formazione di laghi, galleggiamento di strutture interrato, affondamento e rotazione di edifici. Nei terreni in pendio, la liquefazione può provocare fenomeni di fluidificazione, che perdurano anche dopo il terremoto, con colamento di grandi masse che si spostano per lunghi tratti coinvolgendo tutto ciò che incontrano nel cammino. E' da osservare che questo fenomeno si verifica quando a scosse di grande violenza (fattori scatenanti) si associano condizioni sfavorevoli dei depositi (fattori predisponenti). Alcune indagini storiche per la ricostruzione degli effetti di liquefazione del terreno osservati in Italia,¹² mostrano che le aree maggiormente interessate dal fenomeno della liquefazione in Italia coincidono con le piane costiere della Calabria centro - meridionale e della Sicilia orientale, dove quindi esistono sia i fattori predisponenti sia i fattori scatenanti. Sulla base dei dati storici è stato anche rilevato che la possibilità di occorrenza dei fenomeni di liquefazione si può estendere in tali aree, nel caso di terremoti di magnitudo 7, anche a distanze dall'epicentro di oltre 120 km.

Osservando la carta del modello strutturale dell'Italia meridionale appare chiaro che, nella regione calabro - messinese, le risposte del terreno possono essere localmente molto differenziate, con effetti di esaltazione del moto sismico legati alla natura dei terreni, allo spessore dei depositi, ai livelli di falda, ecc. E che in molti centri abitati, il periodo proprio delle costruzioni e dei terreni possono coincidere e dar luogo a fenomeni di doppia risonanza con le vibrazioni indotte dalla scossa sismica. E' oggi ben documentato che ogni sito ha una sua risposta ad un dato terremoto, e ogni sito ha risposte diverse a terremoti diversi. La normativa sismica ignora queste diverse risposte e considera il territorio nazionale come un grande tavolato di roccia o di terreno duro. Diventa perciò essenziale, per una reale protezione sismica, conoscere non solo le caratteristiche degli eventi sismici, ma anche i siti e le loro risposte.¹³ La difesa dai terremoti - è bene sottolinearlo - comincia dalla conoscenza dei terreni e dalla scelta dei siti.

Lo strumento della microzonazione sismica - messo a punto dalla comunità scientifica per mettere in conto l'influenza dei siti sulle azioni sismiche a cui sono sottoposte le costruzioni e le infrastrutture - consente oggi di arrivare a previsioni affidabili sulle risposte dei vari siti. Ma questo strumento di 'prevenzione' per eccellenza (di cui si parla, invece, praticamente solo sull'onda degli accadimenti, cioè dopo un

terremoto) è ancora assai poco conosciuto fuori dagli ambienti scientifici specialistici e, benché permetta di massimizzare sicurezza ed economia, incontra ancora molte resistenze e difficoltà nella sua diffusione come strumento di governo del territorio.¹⁴ Tra i dati essenziali a uno studio di microzonazione (dati di sismicità storica, sismologici, geomorfologici, geotecnici) ve ne è alcuni che l'esperienza del recente terremoto umbro-marchigiano del 26 Settembre 1997 ha mostrato essere praticamente inesistenti in Italia, ad esempio la carta geologica a scala 1:10.000 o 1:5000. Il terremoto ha messo in luce che nessuno dei centri colpiti possedeva carte geologiche a tale scala: Perciò per procedere alla stesura delle carte di microzonazione sismica in vista della ricostruzione si sono dovute produrre in modo affrettato le carte dei 65 centri urbani colpiti perché nessuno di essi possedeva questo strumento indispensabile non solo per difendersi dai terremoti ma per qualunque strategia di pianificazione e gestione del territorio. E' naturale allora domandarsi: quanti centri abitati della Calabria e della Sicilia possiedono carte geologiche a tale scala?

Passando alle costruzioni, dall'atlante di classificazione sismica del territorio nazionale¹⁵ si evince che a Messina su 87.000 abitazioni circa il 90% (cioè 78.000 abitazioni) è antecedente all'entrata in vigore della normativa sismica; a Reggio Calabria su 60.000 abitazioni lo è l'86% (cioè 50.000).

Prevedendo come terremoto di scenario gli eventi che abbiamo visto in precedenza e ammesso che, realizzandosi il Ponte sullo Stretto, questo regga pienamente (come ci assicurano i suoi sostenitori e come ovviamente ci si augura), il quadro delle potenziali vittime e dei danni al patrimonio esistente nei luoghi in cui il Ponte si colloca appare agghiacciante.

E' allora naturale domandarsi se il Ponte rappresenta davvero la soluzione ai problemi della *polis*, e se tutte quelle ragioni di natura politica, culturale, simbolica che vengono portate a sostegno del Ponte non potrebbero essere incorporate anche da un'opera che appare prioritaria, quale è la prevenzione sismica.

Non sarebbe una prova reale dell'interesse dello Stato alle sue popolazioni? non ne deriverebbe - con una adeguata propaganda - altrettanto prestigio per il paese (e per un certo modo più raffinato di intendere la modernità anche maggiore di quello arrecato dal Ponte)? non offrirebbe sotto il profilo occupazionale vantaggi ben più duraturi?

Una prevenzione sismica seria richiede una grande quantità di studi, di indagini, di controlli che richiedono energie diffuse sul territorio, operatori capaci di rilevare, leggere, interpretare i dati, di effettuare stime, valutazioni sui rischi dei terreni, sull'esposizione delle infrastrutture, sulla vulnerabilità degli edifici residenziali e pubblici, sui monumenti. E ciò significa ampliare indefinitamente il campo delle conoscenze storiche, sismologiche, geologiche, geotecniche, strutturali, intervenire con strumenti di piano, con consolidamenti dei terreni, con ristrutturazioni e miglioramenti sismici per i quali occorrono imprese specializzate e

operai. Per non parlare del lavoro di educazione a convivere con il terremoto, della pianificazione dell'emergenza e della programmazione anticipata del post-terremoto. Operazioni che allargano a ventaglio le categorie dei soggetti coinvolti, che richiedono conoscenze e interventi di tecnologia altrettanto, se non più, avanzata quanto la realizzazione di una grande opera in una zona altamente sismica.

La lezione del terremoto umbro-marchigiano è che un terremoto di magnitudo $M_s = 5.9$, che ha registrato 6 morti, ha prodotto, in una zona di Italia dove gli edifici avevano resistito ai terremoti per oltre 500 anni, danni per oltre 60.000 miliardi. Che cosa costerà la mancata prevenzione in termini di vittime e di danni materiali in questa parte di Italia dove si attende in tempi storici un terremoto di magnitudo 7.3?

8.3

Per concludere, si possono fare tre osservazioni.

La prima è che un'opera della portata del Ponte sullo Stretto deve essere valutata non solo in sé ma nel contesto dei problemi del territorio e delle comunità siciliana e calabrese. Il problema, cioè, non è tanto valutare se il Ponte, preso come *a priori del discorso*, va bene o va male, quanto di sapere quali sono le priorità di esigenze nel luogo geografico in cui si colloca, tenendo conto di tutti i problemi territoriali, sociali, economici. Non è dal Ponte che bisogna partire, ma occorre piuttosto vedere se, partendo dai problemi aperti nelle due regioni, si incontra il Ponte come esigenza e soluzione primaria.

La seconda osservazione è che uno dei problemi più gravi che si pone in Sicilia è quello della sua pericolosità sismica e della vulnerabilità dei suoi abitati, delle sue strutture civili, delle sue attività produttive, delle sue risorse paesaggistiche, di tutto il suo assetto territoriale. Se si verificheranno, o nei prossimi anni o comunque nel venticinquennio, i terremoti dell'Arco calabro o della regione della Sicilia orientale prevedibili in base alle serie storiche di cui si dispone, e se la stima delle possibili vittime umane e dei danni materiali sono quelli che gli esperti prospettano, allora sembra che *la prevenzione degli effetti catastrofici attesi si ponga, per la Sicilia e per la Calabria, con un grado di priorità elevatissimo*. Ciò sia che si adotti un angusto criterio economico (dei danni producibili) sia che si integri, come si deve, questa prospettiva con la presa in considerazione dei danni umani gravissimi.

In termini tecnici, l'adeguamento sismico degli edifici e delle opere è oggi affrontabile con successo non meno di quanto lo sia la costruzione d'un ponte in zona sismica. L'impegno finanziario che gli interventi di prevenzione comportano è elevato ma, come viene tecnicamente dimostrato, assumibile da un paese come l'Italia.

Il Ponte sullo Stretto non è la *conditio sine qua non*, per dimostrare 'l'unione morale ed affettiva' del resto dell'Italia alla Sicilia e al Sud, o

per salire nella considerazione europea e mondiale, o infine per i vantaggi in termini di sviluppo dell'economia siciliana e di occupazione. Anche la prevenzione sismica può incorporare le stesse ragioni che vengono portate a sostegno del Ponte.

La terza osservazione, infine, è che, naturalmente, la prevenzione sismica si può sensatamente prospettare come “*sogno tecnologico alternativo*” rispetto a quello richiesto dalla realizzazione del Ponte, non solo per l'impegno finanziario relevantissimo che tale opera richiederebbe (impegno non precisamente calcolabile prima né all'inizio dell'intervento ma destinato a rivelarsi nella sua completezza in un processo che accompagnerà tutta la realizzazione dell'opera) ma soprattutto per la mobilitazione intensiva, non solo di sapere tecnico puntuale, ma altresì di attenzione politica, di erogazione di energie umane, tecniche, politiche, amministrative che ogni intervento di grande portata richiede. Il Ponte, se si farà, sarà un'impresa che, da sola concentrerà una larga parte della tensione vitale nazionale e ben più di ogni altra grande opera singola finora realizzata dal nostro paese, e non lascerà spazio ad altre iniziative di larga portata.

La contropartita della mancata prevenzione sismica può essere percepita se il Ponte pur reggendo e conservando la sua funzionalità finisse per collegare due cimiteri. Che reale apprezzamento si avrebbe in Italia e fuori, della classe politica e della classe tecnica che hanno voluto e realizzato il Ponte escludendo la prevenzione sismica? Che vero legame tra le popolazioni meridionali e il Paese si sarebbe realizzato? Che progresso nella fama internazionale dell'Italia?

Note

¹ F.Cassano, *Paeninsula, L'Italia da ritrovare*, Editori Laterza, 1998.

² Vedi ad es. A. Misiti, “Il Ponte sullo Stretto”, *Le Scienze*, n.362, 1998.

³ A. Giuffrè, 3° Convegno nazionale ANIDIS, “L'Ingegneria Sismica in Italia”, 1987.

⁴ R. Solbiati e A.Marcellini, *Terremoto e società*, Garzanti, 1983.

⁵ D. Postpischl, *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1984*, C.N.R. Quaderni della Ricerca scientifica, n. 114, vol.2B, Bologna, 1985

⁶ Il Progetto Catania è un progetto pilota del CNR-GNDT sollecitato dalla Protezione Civile con la finalità di mettere a punto i piani di emergenza a Catania in vista del prossimo terremoto e per attivare interventi di prevenzione a lungo termine. Come terremoto di scenario è stato preso l'evento del 1693 (Magnitudo 7+) che ha un periodo di ritorno di circa 300 anni. In questo studio sono impegnati circa un centinaio di ricercatori di molte università italiane, numerosi tecnici comunali (ingegneri e geologi), che sono stati preparati con opportuni corsi di formazione sulla prevenzione sismica. Sono stati assunti diverse decine di giovani nell'ambito dei “lavori socialmente utili” per la rilevazione mediante apposite schede della vulnerabilità e della pericolosità geotecnica del patrimonio edilizio residenziale e degli edifici strategici. Un sottoprogetto è stato dedicato alla costruzione di carte geotecniche e di un modello di superficie. Sono stati raccolti circa 850 sondaggi e sono state effettuate campagne di indagini geotecniche e di prove in sito. Sono stati già elaborati degli scenari di scuotimento e infine sono state prodotte delle carte preliminari di rischio per le costruzioni in muratura e in cemento armato. E' un progetto ancora in svolgimento ma che in due anni ha già prodotto una grande quantità di

informazioni indispensabile per la stima dello scuotimento nei vari siti e degli effetti locali del terremoto di scenario, sulla esposizione degli edifici pubblici e privati e sulla localizzazione del danno.

⁷ M. Baratta, *I terremoti d' Italia* (Torino 1901), ristampa anastatica, Forni, Bologna 1979.

⁸ V. Cotecchia, G. Travaglini, G. Melidoro, "I movimenti franosi e gli sconvolgimenti della rete idrografica prodotti in Calabria dal terremoto del 1783", *Geologia Applicata e idrogeologia*, vol. 4, 1969.

⁹ R. Solbiati e A. Marcellini, *Terremoto e società*, Garzanti, 1983.

¹⁰ L. Peruzza, G. Monachesi, A. Rebez, D. Slejko, A. Zerga, "Speceific macroseismic intensity attenuation of the seismogenic sources, and influences on hazard estimates", in *Seismology in Europe*, Iceland Metereological Office, Torkelsson B. (ed.), Reykjavik, 1996

¹¹ T. Crespellani, R. Nardi, C. Simoncini, *La liquefazione del terreno in condizioni sismiche*, Zanichelli, 1988

¹² P. Galli, F. Meloni, A. Rossi, *Alcune correlazioni tra parametri epicentrali ed indizi di liquefazione in Italia*, 8° Convegno Nazionale ANIDIS, "L'Ingegneria Sismica in Italia", 1997.

¹³ T. Crespellani, *Effetti di sito e fenomeni di instabilità indotti dai terremoti nei depositi e nei pendii*, Centro Internazionale di Scienze Meccaniche, Udine, 1998.

¹⁴ T. Crespellani, *Microzonazione sismica: obiettivi, metodi, esperienze*, Convegno Nazionale degli Ingegneri su 'Siti, terremoto, costruzioni', Ancona, 27 giugno 1998.

¹⁵ Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Servizio Sismico, *Atlante della classificazione del territorio nazionale*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1986.

ALLEGATO: **Il parere di un componente dell'Alta Sorveglianza delle Ferrovie**

Estratto da: "Realtà nuova", n.5 - 1998 (titolo originale: "Il Ponte sullo Stretto di Messina: i pericoli di una scelta affrettata").

"Una costruzione assai improbabile, su cui il treno non salirà mai!"

*di Franco Di Majo**

Sono ormai trascorsi 12 anni da quando per la prima volta ho parlato del Ponte di Messina, e allora era stato per informare dei risultati di una serie di studi, sviluppati insieme al Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano, con i quali veniva dimostrato che, contrariamente alla opinione fino allora prevalente, non esisteva alcun pericolo di svio al passaggio di un treno sopra di un ponte sospeso anche di grandissime dimensioni.

Furono studi che ebbero a quell'epoca molta risonanza negli ambienti interessati: il Ministro dei Trasporti, On. Claudio Signorile, volle che gliene riferissi direttamente, prima di dare alla Società Stretto di Messina la concessione per lo studio e l'eventuale realizzazione delle opere di attraversamento stabile dello Stretto.

I Giapponesi, che stavano preparando per gli Stretti del Bisanseto il primo ponte sospeso ferroviario della storia, ma che non erano riusciti a prepararsi una base teorica per studiare il problema dello svio, si dichiararono molto confortati dalle nostre conclusioni e ci espressero i più espliciti riconoscimenti. Anni, dopo, poi hanno messo a disposizione il ponte, perché si potesse verificare la coincidenza fra le reali condizioni di marcia dei treni e le simulazioni fatte a suo tempo con i nostri modelli teorici.

**Il Prof. Ing. Franco Di Majo, già docente di Costruzioni Ferroviarie al Politecnico di Torino ed esperto di fama internazionale, è stato componente della Delegazione di Alta Sorveglianza delle Ferrovie.*

Per questi motivi molti ritengono che io abbia partecipato al Progetto del Ponte ed ora, che i Media hanno diffuso la notizia che il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici lo ha approvato all'unanimità, mi sono state anche rivolte delle congratulazioni. Congratulazioni che a me suonano come una beffa, dato che sul Progetto di Massima della Concessionaria, da me attentamente seguito, essendo stato membro della Delegazione di Alta Sorveglianza delle Ferrovie dello Stato, ho delle riserve pesantissime, come già ho avuto occasione di raccontare non molto tempo fa.

Come, disattendendo i giudizi espressi da ben tre Delegazioni di Alta Sorveglianza, quella delle FF.SS., quella dell'ANAS e quella degli stessi Lavori Pubblici, che con un lavoro durato molti anni avevano valutato il progetto in tutti i suoi aspetti, il Consiglio Superiore con parere unanime abbia potuto approvarlo dopo brevissimo esame, *non è per ora comprensibile e forse non verrà mai chiarito del tutto*. Auguriamoci che non vi siano ragioni meno nobili di quelle che si ricollegano alla creazione di occupazione per ventimila anni-uomo ed alla produzione di acciaio nazionale per un fabbisogno di quasi 500.000 tonnellate.

Comunque da questo momento la ormai trentennale vicenda dell'attraversamento stabile dello Stretto entra in una nuova fase. Apparentemente risolti i problemi tecnici, resta da superare l'esame del VIA (valutazione impatto ambientale). Valutazione che, ovviamente, prima ancora di qualsiasi approfondimento, i Verdi hanno già annunciato come assolutamente negativa; ma sono atteggiamenti che lasciano il tempo che trovano, perché completamente privi di una base oggettiva. (Quanto di noi, ricordando la baia di San Francisco, si sentirebbero di affermare che senza il ponte del Golden Gate il paesaggio sarebbe più suggestivo?).

Comunque se ne discuterà per anni.

Poi viene il problema del finanziamento. Come per il Tunnel della Manica, si pensa di ricorrere prevalentemente al Mercato: Banche, Finanziarie, azionariato privato; ed allora chi si appresterà ad investire i suoi capitali, pretenderà a buon diritto di vederci chiaro e tutto verrà nuovamente messo in discussione.

Ma quanto più si andrà in là col tempo tanto più difficile sarà poi arrivare alla verità.

Il Progetto di Massima, così come è stato depositato, è praticamente inservibile. Decine e decine di migliaia di pagine di tabulati, grafici, calcoli, dei quali peraltro vengono date spiegazioni molto sommarie, creano soltanto disorientamento e non permettono di valutare correttamente la validità delle azioni proposte, mentre d'altra parte saranno abbastanza presto dimenticate le osservazioni e le critiche che gli studiosi più attenti hanno espresso nel corso di questi ultimi anni.

Ecco perché penso che sia di grande interesse per tutti avere un quadro completo della situazione attuale, nel quale vengano messi in luce gli aspetti fondamentali del Progetto, ma vengano anche evidenziati gli

errori e le incompletezze più pericolose che, se non corrette, potrebbero poi compromettere l'affidabilità di tutta l'opera.

Il ponte sospeso unisce l'isola al continente con una sola campata di 3.300 metri nel punto dove le coste sono più vicine, fra Punta Pezzo in Calabria e gli stagni di Ganzirri in Sicilia.

Le due torri, completamente appoggiate sulla terra ferma, sono alte quasi 400 metri e richiedono ciascuna 5.500 tonnellate di acciaio per la struttura e 80.000 m³ di calcestruzzo per i basamenti.

I quattro cavi della sospensione, con una sezione attiva di 1 mq ciascuno, sono lunghi più di 5.000 metri, (3.300 per la campata centrale e 810 e 960 per le discese verso gli ancoraggi) e sono composti da 88 funi (8x8 + 4 volte 6), ciascuna delle quali a sua volta comprende 504 fili di 5,38 mm di diametro. Totale di fili per cavo 44.352.

L'avvolgimento del cavo viene fatto in opera ad un'altezza fra i 100 ed i 330 metri con il sistema così detto dell'Aerial Spinning. Gli ancoraggi all'estremità dei cavi sono delle mezze montagne: 329.000 m³ in Sicilia e 237.000 m³ in Calabria. Si calcola che per smaltire il calore della presa del cemento e ritornare alla temperatura media dell'ambiente saranno necessari da quattro a cinque mesi.

Mediante alcune centinaia di tiranti verticali (pendini) distanti 30 metri l'uno dall'altro, i cavi sostengono a 80 metri sul livello del mare un impalcato a traliccio largo complessivamente 54 metri, di altezza molto contenuta e composto di 2 cassoni laterali di 13.50x2.40 per la sede stradale (tre corsie, più emergenza) ed un cassone centrale di 8x2.40 per la sede ferroviaria (doppio binario).

La struttura dell'impalcato, assemblato esclusivamente per saldatura, rappresenta una soluzione del tutto innovativa ed è l'elemento sulla cui affidabilità vengono espressi i maggiori dubbi.

A queste enormi dimensioni (sempre dal doppio al triplo dei massimi finora raggiunti in altre opere simili) si aggiungono, a completare il quadro della assoluta eccezionalità dell'opera, *una serie di accorgimenti costruttivi del tutto innovativi, alcuni dei quali però non risultano affatto convincenti e dovranno essere attentamente riesaminati.*

Una proposta geniale è il sistema di appoggio dei cavi sulle estremità superiori delle torri.

Il carico, dell'ordine delle diecimila tonnellate, che il singolo cavo trasmette alla torre e che, se concentrato su un'area ristretta, creerebbe rapidissime usure e sollecitazioni insostenibili, viene ripartito fra le 88 funi componenti ed appoggiato ad 88 selle elementari, sistemate su dieci appoggi fra loro sovrapposti ed applicati alle estremità superiori delle torri. Una cabina vetrata di adeguate dimensioni protegge il tutto dalle intemperie e consente le ispezioni periodiche e le operazioni di manutenzione.

Più che appropriati risultano i vari accorgimenti applicati all'impalcato per migliorarne la stabilità aerodinamica, quali: a) l'inserzione di su-

perfici trasparenti all'aria (grigliati invece di lamiere continue) nelle corsie che separano i cassoni stradali dal cassone ferroviario; b) l'applicazione di grandi elementi laterali, che orientano il flusso d'aria in direzione parallela alla superficie inferiore dell'impalcato; c) i frangivento a rete con sagoma particolare che, pur proteggendo efficacemente i veicoli in transito sul ponte, aumentano in modo appena sensibile l'azione del vento trasversale alla struttura. In questo modo viene portata al di sopra dei livelli raggiungibili nella più violenta tempesta la velocità del vento oltre la quale cominciano a prodursi i pericolosissimi fenomeni di *flutter* caratterizzati da oscillazioni angolari di crescente ampiezza, che possono anche avere effetti catastrofici, come è accaduto con la distruzione del ponte di Tacoma in California e come è suggestivamente narrato in un libro di Primo Levi, *La chiave a stella*. Un po' stravagante all'apparenza, ma confortante da un bilancio nettamente positivo è la trovata di deumidificare con qualche centinaio di condizionatori tutti i volumi chiusi dell'impalcato e delle torri, con il fine di evitare la formazione di ruggine sulle superfici interne (centinaia di migliaia di metri quadri) e risparmiare il costo della periodica applicazione di vernici protettive.

Molte perplessità lasciano invece altre proposte, come quella dei giunti di estremità con un ricoprimento di quasi 7 metri (+3.40 m), dove soprattutto per la continuità del piano stradale, si richiedono accorgimenti che non sembra siano stati sufficientemente approfonditi.

Del tutto negativo il giudizio sulle due cosiddette cerniere elastiche sulle quali si articolano tutti i movimenti orizzontali dell'impalcato nella zona della grande campata centrale. Cerniera elastica vuol dire che, in assenza di un'articolazione vera e propria, in corrispondenza all'asse delle torri la deformabilità dell'impalcato è ottenuta riducendone drasticamente la rigidità trasversale, che viene assicurata non più dall'insieme della struttura a traliccio, ma dalla sola presenza del cassone ferroviario centrale.

A questo fine, con una soluzione che non ha precedenti, nemmeno in costruzioni di dimensioni enormemente più ridotte, si è pensato di interrompere in quattro punti ciascuno dei due cassoni stradali, ricavandone sotto le torri quattro spezzoni di via della lunghezza di 50 metri, che non più sostenuti dai tiranti verticali, debbono appoggiarsi da una parte e dall'altra alla restante struttura rimasta integra.

Questi appoggi (ciascuno dei quali dovrebbe consentire uno scorrimento di circa 80 cm), per l'entità dei carichi sopportati, per la qualità dei vincoli meccanici e per i gradi di libertà richiesti dalla struttura di base, sono di realizzazione estremamente difficile e forse addirittura impossibile, ed infatti la soluzione presentata nel Progetto di Massima è proposta non dalla Società Concessionaria, ma da un fornitore esterno, che non era neppure in grado di conoscere le dimensioni delle parti fisse con le quali gli appoggi dovrebbero interfacciare.

Sotto questo aspetto, dunque, il Progetto di Massima deve essere considerato incompiuto; ma quando ebbi occasione di lamentarmene con la Concessionaria, mi venne candidamente risposto: “Per questo Progetto abbiamo speso 160 miliardi e presentato una quantità di elaborati 7 volte superiore a quella prodotta per lo studio di tutti i nuovi attraversamenti dello Störebelt e del Kagelbelt nei mari del Nord. Lei non può rimproverarci di non aver lavorato abbastanza. Se qualcosa resta da definire, ci si penserà col Progetto Esecutivo”.

Non pensiamo che cosa potrebbe succedere se il Progetto Esecutivo dovesse confermare, magari a lavori già avviati, che quell'appoggio non è fattibile e si rendesse necessario cambiare tutta l'impostazione o addirittura lasciare l'opera incompiuta.

Questa irresponsabile mentalità di rimandare alla fase esecutiva quello che il Progetto di Massima non è riuscito a risolvere è stata applicata in maniera ancor più sciagurata alle verifiche di resistenza della struttura dell'impalcato.

Inspirato ad uno degli ultimi ponti costruiti sul Bosforo (di dimensioni, però, assai più modeste e non idoneo al carico ferroviario), l'impalcato proposto dal Progetto di Massima consiste in un traliccio di ridottissimo ingombro verticale (4 metri e mezzo, contro i 15-20 metri dei grandi impalcati reticolari) in cui i tre grandi cassoni longitudinali, due stradali ed uno ferroviario centrale, si incrociano e si compenetrano con i tipici traversi scatolati, sospesi ai cavi ad una distanza di 30 metri l'uno dall'altro.

Purtroppo questa struttura, già di per sé molto complicata e caratterizzata da notevoli discontinuità delle sezioni resistenti, deve, secondo il progetto, essere assemblata esclusivamente a mezzo di saldature e risulterà di conseguenza pericolosamente vulnerabile alle rotture per sollecitazioni di fatica. Ogni cordone di saldatura (e, nell'impalcato di cui si parla, ce ne sono per molte decine di chilometri) introduce, nelle parti che vengono unite, delle tensioni interne, talvolta rilevanti, che, sommandosi alle sollecitazioni provocate dal carico, possono ridurre la resistenza dell'insieme a valori molto più bassi di quelli prevedibili con il calcolo statico.

Chi non ricorda l'avventura delle navi americane Liberty costruite in grandissima serie per compensare i vuoti prodotti dalla guerra degli U-Boats nell'Atlantico, e finite tutte in disarmo dopo pochi anni, perché continuamente soggette a rotture del fasciame saldato e non poche volte con esiti catastrofici?

Proprio per garantirsi contro questi guai, il modernissimo ponte giapponese del Bisanseto, per la prima volta nella storia, ferroviario e sospeso, non ha una sola saldatura, ma tutte le unioni sono fatte con procedimenti molto più costosi, ma sicuri, come la chiodatura a freddo o la bullonatura applicata a fori preventivamente calibrati.

Absolutamente insensibile a queste considerazioni, la Concessionaria si mantiene fedele alla scelta della struttura interamente saldata ed alla

fine, pur di tagliar corto ad ogni discussione, decide di eseguire, presso l'Istituto Sperimentale Ismes di Bergamo, prove a fatica su uno dei modelli in scala al vero dei componenti più tipici dell'impalcato, particolarmente dei controversi "nodi" all'incrocio fra i cassoni longitudinali ed i trasversi.

Le prove, grandiose, costate peraltro un paio di miliardi, hanno, per la maggior parte dei campioni, dato luogo a rotture precoci avvenute ad un livello di sollecitazioni molto inferiore a quello previsto dai calcoli. E d'improvviso il discorso cambia completamente registro: le prove a fatica non sono più la sfida per dimostrare l'inconsistenza delle nostre preoccupazioni, ma vengono presentate come una costosa, ma responsabile, indagine sperimentale per definire le classi di saldatura (cioè i valori dei coefficienti correttivi) da assegnare ai diversi assemblaggi. "Adesso che lo sappiamo, possiamo stabilire i nuovi dimensionamenti ed indicare con piena consapevolezza gli spessori da assegnare alle lamiere": una lamina di 9 mm diventa 16, una di 6 diventa 10 e così via. Cresce il peso proprio e diminuiscono le possibilità di carico? *Rimangono tanti punti per i quali non è stata fatta nessuna prova? "Never mind! C'è ancora il Progetto Esecutivo che metterà a posto ogni cosa".*

Paradossalmente era molto più vicino ad una prossima realizzazione il Rapporto di Fattibilità, presentato dieci anni fa, che non era un progetto, ma che aveva esaminato tutti i problemi e suggerito le migliori soluzioni, accompagnandole con verifiche che garantivano che quanto veniva proposto era poi effettivamente realizzabile, e tutto ciò con un costo, in termini di risorse impiegate, certamente non superiore ad un ventesimo di quello poi consuntivato col Progetto di Massima.

Tutto ciò trova la sua spiegazione in un modo di lavorare diametralmente opposto in un caso e nell'altro.

La preparazione del Rapporto di Fattibilità era affidata a gruppi di lavoro specializzati nelle varie discipline, ciascuno dei quali, però, ad ogni risultato importante raggiunto, ne riferiva agli altri gruppi e si consigliava sul modo di procedere per i passi successivi. Si poteva veramente parlare di un lavoro collegiale che andava avanti con la responsabilità solidale di tutti, mentre per riferimento comune avevamo l'esperienza e la genialità dell'indimenticabile Prof. Morandi, uno dei più famosi progettisti di ponti.

All'avvio del Progetto di Massima, che coincide con importanti mutamenti ai vertici aziendali della Concessionaria (sostituzione del Presidente e dell'Amministratore delegato), una mentalità del tutto diversa dal passato pervade il nuovo ambiente. La responsabilità del Progetto viene affidata ad un personaggio con grandi meriti nel campo dell'imprenditoria e dei buoni affari portati a conclusione, ma privo di qualsiasi esperienza in fatto di progettazione e di ricerca.

Ai vari gruppi di lavoro, numericamente rinforzati, ma qualitativamente molto meno autorevoli, più dell'approfondimento e della ricerca interessa ora la quantità degli elaborati prodotti. Lavorando senza soste e

con l'impiego di programmi multipurpose il computer sforna quantità inverosimili di tabulati, grafici, diagrammi in bianco e nero o a colori, che sono poi oggetto di un esame quanto mai acritico e superficiale. E quando i risultati sono troppo lontani da quanto ci si attendeva (per esempio sollecitazioni unitarie superiori al limite di snervamento), invece di cercarne i motivi, si preferisce dare la colpa ad una "singolarità del programma": giustificazione senz'altro inaccettabile, che è stata d'altra parte smentita tutte le volte che si è preteso di vederci chiaro. La collaborazione fra i gruppi, anche se nominalmente è rimasta nell'etichetta che accompagna tutti i documenti, in realtà ha da subito cessato di essere operante, gli scambi di informazioni non hanno più avuto luogo ed il più delle volte i risultati consegnati alle Delegazioni di Sorveglianza erano noti soltanto a quei pochi che se ne erano occupati. Mi ricordo di aver chiesto spiegazioni di un grave, ma visibilissimo errore rilevato in un calcolo e di aver dovuto attendere per settimane la risposta, perché l'unico tecnico che se ne era occupato era in ferie e non raggiungibile per un lungo periodo. Poi, quando è ritornato, ha riconosciuto gli errori e se ne è scusato, ma nessuno si è sorpreso, o ha chiesto di prendere dei provvedimenti per la mancanza dei controlli.

Ma anche dal punto di vista economico si evidenzia la scarsa serietà con la quale il Progetto è stato sviluppato. Il preventivo di 5.500 miliardi (3.300 per il Ponte vero e proprio e 2.200 per le opere di allacciamento stradale e ferroviario, gli accessi e le deviazioni) è evidentemente inadeguato e tutti sono convinti che, aggiungendo gli imprevisi, le spese di progettazione e di direzione dei lavori e gli interessi intercalari per un'opera che richiederà almeno dieci anni di impegno, sarebbe ancora ottimistico attendersi un costo consuntivo appena doppio rispetto alle previsioni iniziali. Sul fronte dei ricavi è ancora peggio. Al netto delle spese si prevedono utili per poco più di 600 miliardi/anno, dei quali però quasi 500 sono generati dal traffico "intermetropolitano" fra Messina e Reggio, le due componenti della futura mitica "Città dello Stretto". Ed è questa la più sfacciata delle contraddizioni. Con 30 Km che separano, via Ponte, Reggio Calabria da Messina, come si può parlare di una città unica, se, per muoversi entro di essa, ciascuno dei 400.000 cittadini dei due centri attuali dovrà sborsare più di un milione all'anno soltanto per pagarsi i pedaggi del ponte? Sotecnici in uno studio attento, come essa usa fare, valuta in non più di 20 Mdi/anno i proventi del traffico intermetropolitano.

Con una prospettiva di redditività praticamente nulla, e ricordando la drammatica esperienza del Tunnel della Manica, cade ogni speranza di contribuzione del capitale privato al finanziamento dell'opera, ed altro non resta che attendersi, a tempo opportuno, la solita "manovra" a carico del contribuente per 10-12.000 miliardi. Magari, diluita in due o tre rate, non sarebbe neanche una catastrofe, ma c'è da domandarsi se ne varrà la pena.

Se il progetto fosse valido direi senz'altro di sì, non soltanto per avere

la Sicilia più vicina, ma anche e soprattutto per la conquista di prestigio che tutta la nostra imprenditoria acquisirebbe, con la realizzazione completamente italiana della più grande opera pubblica di tutti i tempi. Ma un altrettanto immenso discredito affliggerebbe non i soli imprenditori, ma tutto il Paese, *se il ponte non dovesse rispondere alle attese e presentare continue avarie ai due grandi giunti di estremità od agli 8 giunti sotto le torri, od accusare, dopo pochi anni di servizio, rotture a fatica nelle saldature dell'impalcato, cui sarebbe difficilissimo porre rimedio e che porterebbero a prolungate sospensioni del traffico ed a drastiche riduzioni di velocità, sia per i treni che per gli automezzi stradali pesanti.*

Per scongiurare questo pericolo, bisogna prima di tutto non tacere. Le cose che oggi ci siamo raccontate dovranno, quando i tempi saranno maturi, essere ben ricordate a quanti avranno facoltà di fare scelte e di prendere decisioni.

È probabile che in quel momento la mia voce sarà molto debole, forse spenta del tutto. Ed allora bisogna che fin da ora qualche cosa rimanga. Le relazioni a personaggi importanti servono a poco. Ne ho mandate all'On.le Costa e al Dott. Di Pietro, quando erano rispettivamente ministri dei Trasporti e dei Lavori Pubblici, con il bel risultato che, poco dopo, sia l'uno che l'altro hanno cambiato mestiere.