

PONTE COSTITUITO DA UNA ROTAIA SOSPESA A CONFRONTO CON IL PROGETTO DEL PONTE DI MESSINA

Il traffico stradale è composto da veicoli sempre più grandi e di peso crescente. Inoltre non viene distinto il traffico del trasporto merci da quello passeggeri. Questo rende sempre maggiore il carico che debbono sopportare le strutture destinate alla mobilità, come strade, ponti, viadotti e gallerie. Il gigantismo delle strutture destinate alla viabilità si autoalimenta per la crescente domanda di mobilità con un crescente impegno finanziario, per lo più sostenuto dallo stato. A questo si aggiunge la tendenza, anche per ragioni di sicurezza, alla crescita delle dimensioni delle vetture private. Il risultato emblematico è sfociato nel progetto "impossibile" del ponte sullo stretto di Messina, un colosso che, a pieno carico, dovrebbe pesare come venti grandi portaerei, sospese sul mare dello stretto. Il ponte sullo stretto avrebbe dimensioni quasi doppie del ponte giapponese sullo stretto di Akashi. La resistenza delle strutture cresce con il quadrato delle dimensioni il peso con il cubo. Indicati con due i parametri del ponte giapponese, quello di Messina peserebbe otto volte di più mentre la sua resistenza strutturale aumenterebbe solo quattro volte.

Lo stato attuale

Che cosa è stato fatto fino ad ora nel campo dei ponti sospesi? Guardiamo il più grande esistente oggi al mondo: Il **Ponte dello stretto di Akashi** è il [ponte sospeso più lungo del mondo](#). È alto 282,8 [m](#) e lungo 3 911 metri. La sua campata principale è lunga **1991** metri. Inaugurato il 5 aprile 1998, unisce la città di Kōbe sull'isola di Honshū all'isola Awaji, passando al di sopra dello stretto di Akashi. Iniziato a costruire nel 1988 dopo venti anni di progettazione, è stato inaugurato nel 1998 e il 17 gennaio 1995 ha resistito al terremoto di Kobe d'intensità **6,8** della [scala Richter](#),^[1] quando già erano state costruite le due torri, alte 300 metri, e l'epicentro del sisma era localizzato proprio nella faglia nello stretto di Akashi. Le due torri non subirono danneggiamenti estremi, ma la torre sud si spostò di 120 cm e i lavori ripresero soltanto dopo un mese. Fortuna che c'erano solo le torri. Eppure si trattava di un terremoto inferiore a quello a cui dovrebbe resistere il ponte di Messina al completo. Ma anche le torri da sole hanno subito danni. I ponti sospesi sono sostenuti da enormi funi costituite da fili d'acciaio intrecciati. È chiaro che queste funi debbono essere conservate integre. Poiché il problema principale delle grandi funi d'acciaio è la corrosione, ognuno dei due cavi è sottoposto a un getto d'aria continuo per evitare la condensa dell'umidità. Per il ponte sullo stretto di Messina ci sarebbe lo stesso problema, che deve essere aggiunto alla lista dei problemi. Data l'enorme dimensione del ponte giapponese, risulta che l'80% della sua capacità portante è impegnata a reggere il peso proprio dell'opera e solo il restante 20% è destinato a sostenere il traffico. Stradale. Questo avviene per le condizioni normali del traffico. Ma un ponte deve affrontare le condizioni molto gravose dei carichi imposti durante il collaudo. Il progetto iniziale prevedeva anche il traffico ferroviario che, in una fase successiva, fu soppresso.

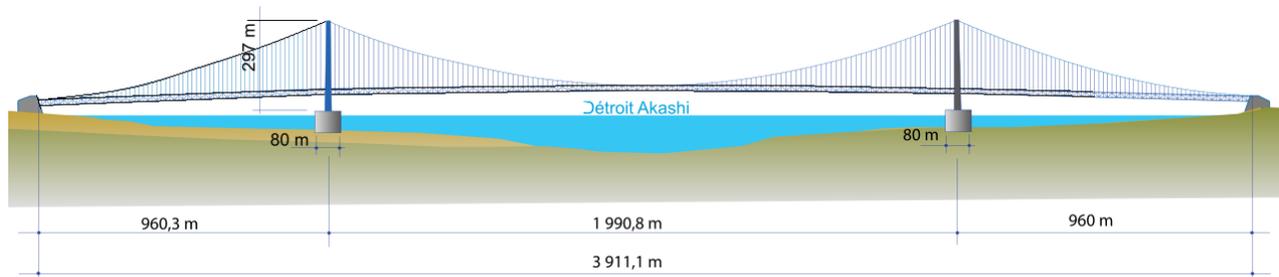


Fig.1 Ponte autostradale sullo stretto di Akashi (Giappone). Dal 1998 è il ponte più lungo del mondo. Per 80% della massa della sua struttura regge solo se stesso. Ci sono voluti dieci anni per costruirlo ma un terremoto potrebbe distruggerlo in pochi minuti.

1) Progetto approvato del ponte sullo stretto di Messina (autostrada + ferrovia)

Il progetto del ponte sullo stretto ha parametri "estremi" rispetto al ponte sospeso più grande del mondo, quello sullo stretto di Akashi.

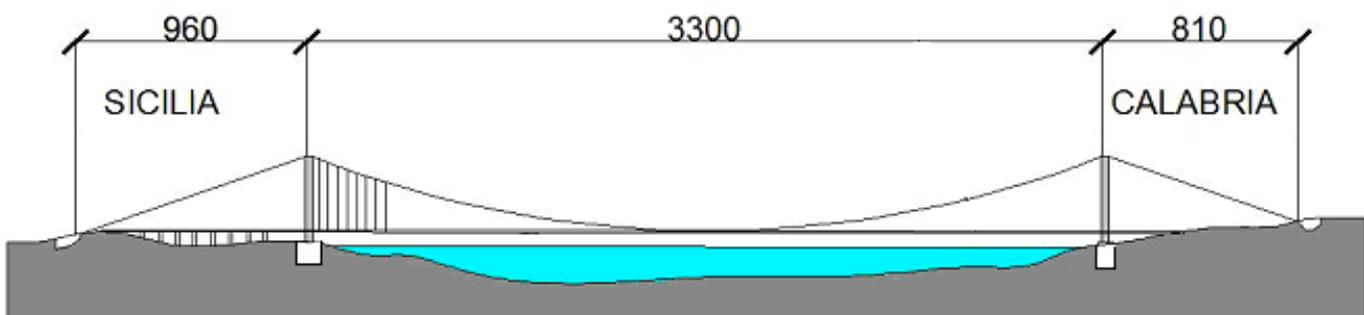


Fig. 2. Progetto del Ponte di Messina approvato alcuni anni fa.

Parametri del progetto approvato:

Lunghezza del ponte: $L = 3300$ m

Peso impalcato **23.4** t/m

tensione massima **S** nei cavi 26.722×10^5 t

Peso dei 4 cavi **32.0** t/m

diametro **D** dei cavi: 1.24 m

altezza delle torri 358 m - aggiornata poi a 400 m

In Totale abbiamo un peso strutturale $q = 23.4 + 32.0 = 56.4$ t/m (impalcato + cavi)

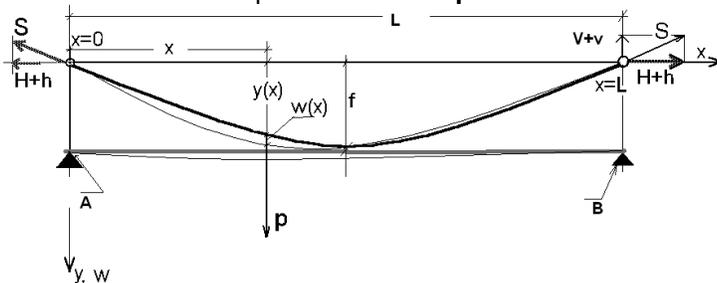


Fig 3. Schema dell'andamento degli sforzi e

delle deformazioni per un ponte sospeso. Le linee sottili rappresentano qualitativamente le deformazioni dovute al singolo carico p . Carichi, sforzi, deformazioni e reazione di vincoli nella struttura compresa tra due piloni di sostegno A, B.

La freccia f [m] (Fig.3) sarà $400 - 65 = 335$ m, che significa aver adottato per il rapporto: $f/L = n = 0.101$. Un rapporto molto basso rispetto a 0.11 normalmente adottato. Questo pa-

rametro è importante perché influisce direttamente sullo sforzo **S** che debbono sostenere le funi di sostegno. Più è basso questo rapporto e più cresce lo sforzo che debbono sopportare le funi. **H** è la componente orizzontale della forza **S** sostenuta dalla fune a ponte scarico. **V** è la componente verticale. **h** è l'aumento di **H** dovuto al carico utile massimo previsto (in fase di collaudo), come **v** è l'aumento di **V** con il carico. Il peso dei cavi di sostegno (32 t/m) è superiore al peso dell'impalcato del ponte (23.4 t/m). Da questi dati si ricava il carico **q** (t/m) sopportato dal ponte senza carico. Dallo sforzo totale massimo **S**, sopportato da quattro enormi funi di sostegno longitudinali (sforzo già indicato nel progetto) si può dedurre il carico utile massimo **q_{max}** distribuito in modo uniforme per metro di lunghezza che il ponte può sopportare (Fig. 2, 23, **q_{max}** è il carico massimo totale per unità di lunghezza del ponte):

$$H = q \cdot L^2 / (8 \cdot f); \quad H+h = q_{\max} \cdot L^2 / (8 \cdot f); \quad V = q \cdot L/2; \quad V+v = q_{\max} \cdot L/2$$

$$S = (H^2 + V^2)^{0.5}; \quad H+h = q_{\max} \cdot L / (8 \cdot n);$$

$$S = q_{\max} \cdot (L^2 / (8 \cdot n)^2 + L^2 / 4)^{0.5} = q_{\max} \cdot L \cdot (1 / (8 \cdot n)^2 + 1/4)^{0.5}$$

$$q_{\max} = S / [L \cdot (1 / (8 \cdot n)^2 + 1/4)^{0.5}]; \quad q_{\max} = 2.6722 \cdot 10^6 / [3.3 \cdot 10^3 \cdot (1.5317 + 0.25)^{0.5}] = 606 \text{ [t/m]}$$

tolto 56.4t/m, che è il peso della struttura, abbiamo un carico utile **q_u = 549.6 [t/m]**

Poiché il ponte è lungo 3300 metri, in totale la struttura dovrebbe reggere il peso proprio ed il carico utile: 606x3300, che equivale a circa 2 milioni di tonnellate, che è il peso circa di venti grandi portaerei da 100 mila tonnellate!.

Il ponte senza carico pesa 186000 t, quanto due grandi portaerei.

Il carico totale previsto è enorme: 490 t/m a cui deve essere tolto il carico strutturale 56.4 t/m. Il carico utile è: **433 t/m** che dovrebbe corrispondere (durante il collaudo) ad una fila di autocarri carichi e due treni merci carichi, sui due binari. Circa sette volte il carico strutturale. Il ponte dovrebbe tener sospeso un carico utile totale di circa **14.3 milioni di tonnellate**.

Verifichiamo la tensione massima **S** nei cavi solo per il carico strutturale ($q=56.4 \text{ t/m}$), ovvero il carico che il ponte deve sopportare per reggere se stesso. Esiste una legge semplice: i pesi delle strutture crescono con il cubo delle dimensioni. Oltre un certo limite un ponte molto grande sarà in grado solo di reggere se stesso. È per questa semplice ragione che i ragni con una struttura fatta di fili più resistenti dell'acciaio catturano insetti più pesanti di loro che rappresentano, insieme allo stesso ragno, il carico utile della ragnatela, un formidabile "ponte aereo". La componente verticale **V** dello sforzo sopportato dalle funi principali per il solo carico strutturale è: $V = 56.4 \cdot L/2 = 9.3 \cdot 10^4 \text{ t}$

La componente orizzontale $H = q \cdot L / (8 \cdot n) = 56.4 \cdot 3.3 \cdot 10^3 / (8 \cdot 0.101) = 2.3034 \cdot 10^5 \text{ t}$.

Per il solo peso strutturale il ponte (senza carichi) esercita una forza **S** applicata alle funi.

$S = (V^2 + H^2)^{0.5} = 24.842 \cdot 10^4 \text{ t}$. Valore molto inferiore a quello massimo indicato nel progetto per ponte carico. In questo caso, il ponte a pieno carico durante il collaudo supporterà uno sforzo per le grandi funi longitudinali pari a:

$S_{\max} = 2.6722 \cdot 10^6 \text{ t}$ più di dieci volte lo sforzo per ponte scarico.

Si tratta di misure ciclopiche. Il cantiere per realizzare un'opera di queste dimensioni comporta difficili problemi tecnici e logistici. Altrettanto difficile è prevedere il costo reale dell'opera, costo stimato attorno ai 9 miliardi di euro. Si devono aggiungere i dispositivi per neutralizzare

gli effetti delle scosse sismiche, sia con strumenti passivi, come smorzatori interni, sia con strumenti attivi, come grandi masse che si muovano in controfase rispetto alle oscillazioni create dai terremoti. Gli ultimi progetti indicherebbero la capacità di resistere ai terremoti sino a 7.1° Richter. Essendo i due piloni molto lontani, le oscillazioni a cui è sottoposto un pilone saranno ben diverse da quelle a cui è sottoposto l'altro. Sarà difficile neutralizzare gli effetti di un terremoto sull'impalcato rigido lungo 3300 metri. Non è chiaro come si sia arrivati a dichiarare una resistenza sino oltre il 7° grado della scala Richter. I sistemi di difesa attivi e passivi dovrebbero essere adeguati e certamente molto costosi, ammesso che sia possibile realizzarli per un'opera che prevede enormi masse sospese. C'è poi l'esempio del ponte giapponese i cui piloni, isolati e senza carico, nella realtà sono stati spostati dalla loro posizione originale a causa di un terremoto inferiore a 7 gradi Richter.

2) Progetto alternativo. Veicolo appeso ad una trave rotaia (Fig. 4÷8)

Per collegarsi alla Sicilia si può realizzare un ponte leggero per passeggeri e merci. Un ponte non una funivia. Infatti la struttura non è costituita da una catenaria come fune portante libera di oscillare, ma da una struttura iperstatica nella quale tutti gli elementi sono in trazione (Fig. 4). Un ponte che potrebbe garantire un collegamento rapido (con trasbordo) dalla stazione ferroviaria di Messina a quella di Reggio Calabria. Si propone di sostituire al ponte sospeso proposto questo particolare ponte, che non presenta difficili problemi tecnici da superare con le tecniche attualmente disponibili. Tutti i parametri in gioco sarebbero molto molto inferiori a fronte di una capacità di trasporto altrettanto inferiore, tuttavia utile per il turismo e per il trasporto rapido di carichi modesti. Si potranno trasportare passeggeri con bagagli in pochi minuti, compreso il tempo per scendere dal treno a Reggio per poi risalire a Messina (e viceversa). Il veicolo (della grandezza di un grande autobus con bagagliaio) può viaggiare con una velocità di punta superiore a 100 km/ora, offrendo ai passeggeri un panorama stupendo. Sotto l'aspetto logistico la proposta equivale ad un collegamento aereo continuo passeggeri e merci, collegamento che non dipenderebbe dalle condizioni meteorologiche.

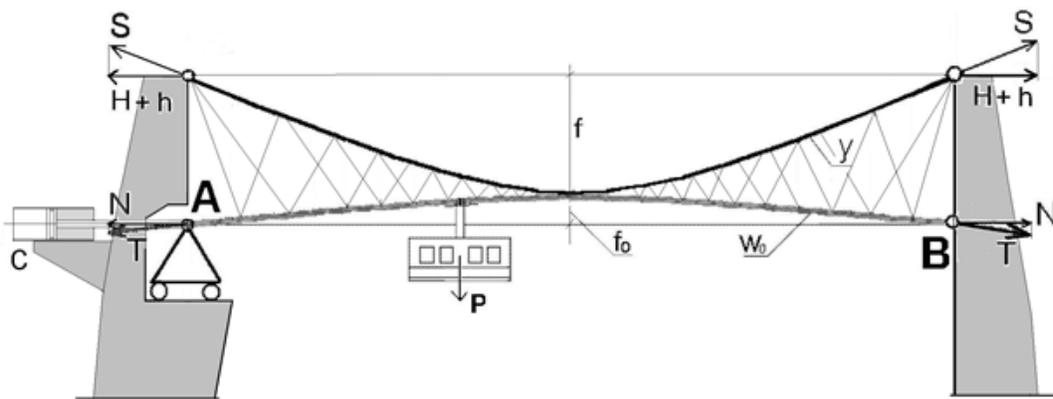


Fig. 4 – Schema costruttivo della funivia. L'estremo A della trave-rotaia è scorrevole ed è messo in trazione dal cilindro idraulico C. Derivato dall'idea iniziale di Gerhard Müller

Per realizzare un sistema di trasporto "sospeso", quindi indipendente da un appoggio diretto sul terreno, sono stati fatti molti tentativi, fondati sulla proprietà di materiali in grado di resistere alla trazione, come l'acciaio e in un prossimo futuro materiali simili al Kevlar.

L'innovazione più interessante è quella di **Gerhard Müller**, che ha ideato un sistema per realizzare una rotaia aerea sospendendola ad una fune portante superiore, disposta secondo una serie di catenarie (Fig. 6 - Brevetti: US3753406 del 1971, US4069765, IT1051768) .



Fig. 5 - La rotaia è tesa secondo lo schema di Figura 4. Qui è rappresentata una fermata intermedia tra i due piloni estremi

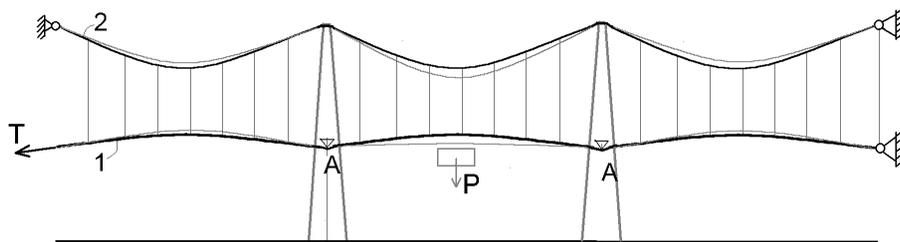


Fig. 6. Schema del sistema ideato da Müller. I punti (A) sono critici a causa dello scorrimento della rotaia (1) ma sono importanti perché garantiscono il mantenimento della configurazione del sistema. La fune portante (2) è fissata agli estremi e non scorre. Gli allungamenti per sforzi e variazioni di temperature vengono compensati dagli spostamenti dell'estremo della rotaia (1) mantenuta in trazione costante **T**.

In presenza del carico **P** la rotaia tenderà ad incurvarsi verso il basso, arrivando ad assumere una configurazione all'incirca rettilinea. Questo dovrebbe consentire una marcia veloce delle vetture lungo la rotaia. In realtà i tentativi di attuare l'idea di Müller, con un sistema costruito in Germania dalla Eberfeld-Barmen non hanno permesso di raggiungere l'obiettivo della velocità elevata. Rudolf Baltensberger, nel suo brevetto successivo US4208969 del 1980, ha osservato che l'idea di Müller ha una grossa difficoltà per essere realizzata. Infatti la configurazione della rotaia, sospesa ad una serie di funi catenarie, è incurvata verso il basso (Fig. 6). Questa configurazione tenderà ad appiattirsi con il passaggio del peso del veicolo creando uno scorrimento nei punti A di contatto con i piloni. La rotaia in ogni segmento subisce così

spostamenti longitudinali che la disallineano rispetto alle funi portanti superiori. Inoltre quando il carico della vettura si sposta velocemente lungo la rotaia lo “spianamento” delle ondulazioni si traduce nella formazione di avvallamenti e cuspidi, causando vibrazioni e sforzi concentrati. Il veicolo non trova quindi un percorso rettilineo ma al contrario avvallamenti e cuspidi che non consentono velocità elevate. Ne scaturirono altre soluzioni che portarono a complicazioni costruttive senza risolvere il problema. In questo progetto ogni tratto è posto in trazione in modo indipendente con un cilindro idraulico (Fig. 4). Le soluzioni per assicurare la continuità del percorso tra campate contigue sono state progettate, non sono semplici e non sono comprese in questa presentazione.

Nella versione, che viene qui illustrata, in realtà più che una funivia è una serie di ponti sospesi con l’impalcato irrigidito da una forte trazione. L’impalcato contiene al suo interno una doppia rotaia (Fig.8a) che ospita i carelli motori, destinati a sorreggere la vettura passeggeri.

3) Presentazione del progetto alternativo: un veicolo (passeggeri e merci) appeso ad una rotaia in trazione (schema Fig. 4, 7).

Si tratta di una “funivia” (Fig 4, 6) ad una o due linee. Lo schema costruttivo è quello di un particolare ponte sospeso in cui la trave di sostegno del carico (P) è configurata (W_0) come una catenaria rovesciata (Fig. 4, 7a), così che il suo peso e la sua curvatura sono sostenute da una catenaria superiore. Tutto il sistema si trova in condizione di trazione. Nella descrizione che segue non è illustrata la soluzione adottata alle estremità della trave rotaia in corrispondenza dei piloni per i collegamento con i tratti contigui (Fig. 6).

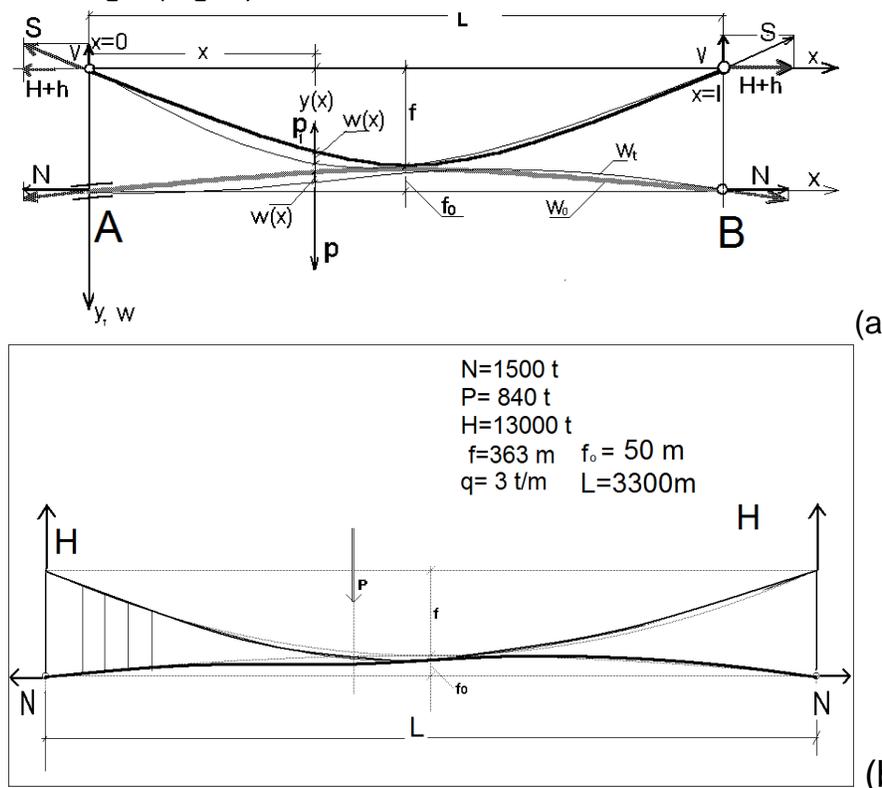


Fig. 7 – Carichi, sforzi e deformazioni nella struttura compresa tra due piloni di sostegno. In figura 7a la linea sottile (solo indicativa) rappresenta la struttura deformata a causa del carico P (840 t). Nella figura 7b è rappresentata la configurazione ottenuta con un programma di calcolo numerico. h rappresenta il sovraccarico dinamico.

co dovuto al carico **P**. La forza **N** è costante perché ad un estremo la trave-rotaia può scorrere ed è messa in trazione da cilindri idraulici.

Ricordiamo che tutto deriva dall'idea originale di Gerhard Müller, con il suo concetto di rotaia aerea sospesa ad una fune portante superiore (Fig. 6).

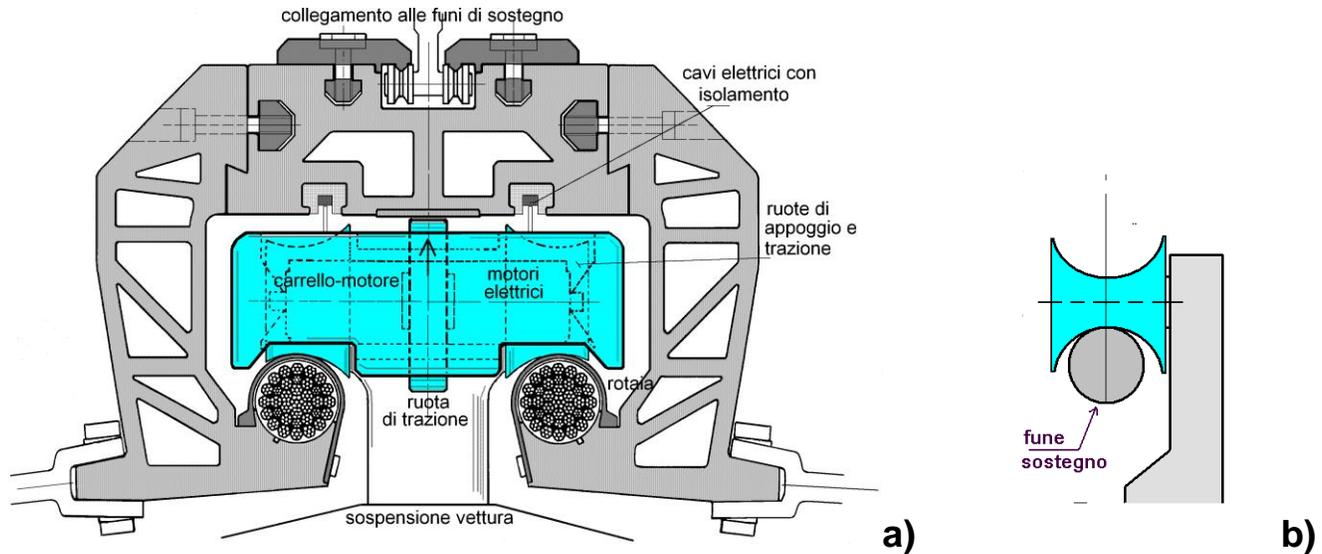


Fig. 8 a) Sezione della trave-rotaia che “ingloba” il complesso propulsore. Due funi d'acciaio, inglobate nella struttura della rotaia, garantiscono resistenza a trazione della rotaia cava. L'aderenza della ruota di trazione è garantita da una forza che la allontana dal carrello motore e la sospinge contro la striscia superiore di gomma, incollata all'interno lungo tutta la cavità della rotaia. Le altre ruote sono metalliche con scarsa aderenza e garantiscono il sostegno della vettura passeggeri sospesa. In verde è rappresentato il carrello motore, alimentato con cavi elettrici accessibili con contatti striscianti.

b) Schema dell'aggancio tra carrello e fune di sostegno in tutte le funivie oggi in funzione. Sono state adottate soluzioni con due funi di sostegno parallele, collegate tra loro con una traversa “volante”, anche se l'accoppiamento tra fune di sostegno e ruote del carrello rimane identico.

Nota a Fig. 8 Viene messa in evidenza la differenza tra l'aggancio del carrello alla trave-rotaia (a) e l'aggancio alla fune portante di una normale funivia (b). E' evidente la precarietà di quest'ultima dove la fune portante è rotaia e assieme impalcato di un ponte virtuale. Per la sicurezza di una funivia ci sono solo i freni automatici che si agganciano alla fune portante, bloccando il carrello che subisce lo strappo della fune traente

Qualche dato di massima:

Peso complessivo delle funi di sostegno e della rotaia: **3 t/m**

Tensione della rotaia $N = 2500 \div 1500$ t a seconda del carico **P**

Ogni vettura a pieno carico pesa più di $160 \div 900$ t.

Si tratta di parametri molto, molto inferiori al grande ponte che dovrebbe portare un improbabile traffico di treni ed automezzi. Ovviamente i costi sarebbero molto inferiori, quantificabili in poco più di due miliardi di euro. A parte il costo dei due piloni, alti circa 473 metri, che sarebbe inferiore a quello dei piloni del progettato ponte stradale e ferroviario, dovendo reggere un carico circa cento volte minore. Verrebbe garantito un flusso di circa 1800 passeggeri/ora nei due sensi. La filovia progettata ha la caratteristica di non dover essere bloccata anche con un forte vento. La resistenza ai terremoti è certamente superiore a quella di un grande ponte sospeso, con una grande massa propria.

Calcolo statico approssimato (Fig. 4 ÷ 8).

Si consideri una soluzione minima con una sola rotaia, per collegamento a navetta. Alla velocità media di 100 km/ora, se ad ogni fermata abbiamo 10 minuti per far scendere e salire i passeggeri, tra una corsa e l'altra abbiamo un intervallo di 41 minuti circa. (la lunghezza complessiva del tragitto comprende i tratti di collegamento con le stazioni ferroviarie).

Per ottenere un volume di traffico più elevato si dovranno predisporre due collegamenti. La lunghezza della campata sarà ancora di 3300 metri ($L=3300$ m.) con un carico strutturale molto basso:

$q = 0.5$ [t/m]. La configurazione è definita da un rapporto $n = f/L = 0.11$, dove f è la freccia della catenaria superiore.

$f = L \times 0.11 = 363$ [m]; a cui si debbono aggiungere 60 metri per il passaggio delle navi. La trave-rotaia al centro viene sollevata di $f_0=90$ m per consentire la dinamica di tutto il sistema: trave-rotaia con la fune di sostegno superiore (Fig. 4, 5, 6, 7, 9). I piloni saranno più alti:

$363+90+60 = 473$ metri. I piloni risultano essere molto più alti di quelli del progetto ma si dovrà reggere un carico molto minore del ponte stradale e ferroviario. A parte le torri, il costo sarà enormemente inferiore, poco oltre il miliardo di euro. La forza S , sopportata dalle funi della catenaria, ha una componente orizzontale H che risulterà:

$$H = q \times L / (8 \cdot n) = 0.5 \times 3300 / 0.88 = 1650 / 0.88 = 1875 \text{ [t];}$$

ed una verticale $V = q \times L / 2 = 825$ [t] (vedi Fig.3).

Lo sforzo massimo S ai due estremi delle funi di sostegno è dato da:

$$S = (H^2 + V^2)^{1/2} = (3.515 \times 10^6 + 0.68 \times 10^6)^{0.5} = 2048 \text{ [t]} = 2.048 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$\varnothing = 86$ mm peso 40.6 [kg/m]; due funi 81.2 [kg/m]; area sezione 1849 [mm²] cavi inglobati nella trave rotaia. 11.627 kg/m

[Carico q sui cavi 100 kg/mm², area A [mm²] = $S/q = 2.048 \cdot 10^4$ [mm²] sezione dei cavi: 204.8 [cm²]. $R=(A/\pi)^{0.5} = 8.076$ cm

Due cavi $\varnothing 102.4$ mm raggio $R=5.71$ cm

Adottando per le funi di sostegno due funi d'acciaio con diametro 51 [mm]. ed un'area effettiva della sezione dell'ordine di 4060 [mm²], con il peso proprio q della struttura e con le tensioni interne create dalla trazione N , applicata alla trave-rotaia, si avrà per le funi di sostegno un carico massimo σ non superiore a 50 [kg/mm²].

Con un peso P della vettura di circa 800 t il sovraccarico h sarà dell'ordine di 30 t; $S = 139$ t; $\sigma = 34.7$ [kg/mm²].

Per due sensi di marcia per la filovia avremo questi parametri:

peso complessivo delle funi di sostegno e della rotaia: 6 t/m

Tensione massima nei cavi: 30000 t

Ogni vettura a pieno carico pesa circa 800 t.

Si tratta di parametri e quindi di costi molto, molto inferiori al grande ponte che dovrebbe portare un improbabile traffico di treni ed automezzi. Anche i due piloni alti 473 metri avrebbero un costo inferiore dovendo reggere un carico inferiore. (i piloni sarebbero più alti avendo adottato un valore di n più alto per ridurre gli sforzi nelle funi di sostegno e nella trave-rotaia. Verrebbe garantito un flusso di circa 1800 passeggeri/ora nei due sensi.

La filovia progettata ha la caratteristica di non essere bloccata da vento forte come avviene per le normali filovie in cui le ruote scanalate si appoggiano sulla fune di sostegno. Con questa soluzione le ruote sono all'interno della rotaia (Fig. 8). La resistenza ai terremoti è certamente superiore a quella di un normale ponte sospeso. Infatti le funi hanno una massa molto piccola che con le oscillazioni può trasmettere poca energia al veicolo. Essendo tutta la struttura in trazione essa avrà frequenze proprie molto alte, lontane dalle frequenze che possono venir create dal terremoto. Le condizioni di carico dinamico sono state calcolate con un apposito programma. Si veda: <http://www.lacrimae-rerum.it/documents/stretched-hollow-rail-suspension-bridge.pdf>

Conclusione

Il progetto consiste nella realizzazione di una trave-rotaia (Fig. da 4 in poi) che sostiene uno speciale carrello, vincolato alla rotaia che lo ingloba. In tal modo è consentito l'esercizio nelle più diverse condizioni di carico ed in condizioni ambientali avverse.

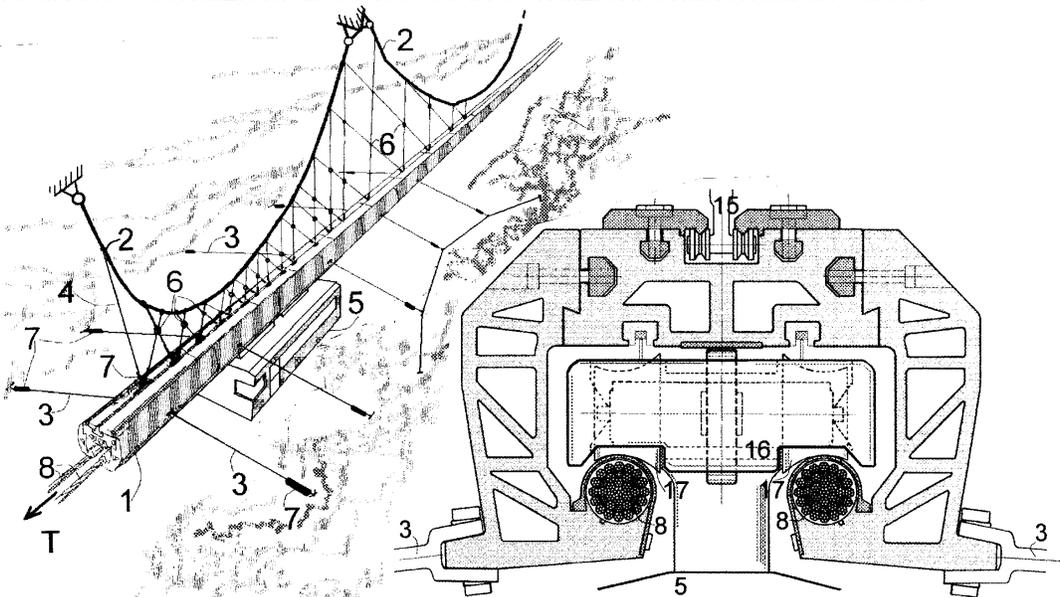


Fig. 9 – Vista d'assieme (dal brevetto) Attestato N. 0001355677 – 21 luglio 2010 -

In questo nuovo sistema di trasporto, sospeso con funi, la funzione di rotaia è nettamente separata da quella di sostegno. Inoltre per superare i problemi incontrati nei punti terminali della trave rotaia, questa viene suddivisa in tratti compresi tra i piloni contigui ai quali vengono collegati con speciali raccordi. Per il sostegno si disporranno le funi superiori, configurate come catenarie (Fig.2 - 3), con gli estremi bloccati (Fig.3 - 6). Il profilo della rotaia sotto carico risulterà quasi rettilineo e non alterato dall'influenza dei sostegni, grazie ad un particolare sistema per l'ancoraggio della rotaia ai piloni. Ogni tratto di trave-rotaia avrà un solo estremo bloccato, mentre l'altro estremo sarà in trazione con la forza N costante con un cilindro idraulico. Inoltre, poiché la struttura della rotaia (Fig. 8a, 9)) ingloba le ruote del carrello in modo da renderne impossibile il disimpegno, saranno consentite velocità molto elevate per i veicoli, mossi da motori elettrici contenuti nel carrello stesso.

Nella sezione della trave-rotaia, rappresentata in figura 8a e 9, sono indicate le due funi di acciaio ad alta resistenza, che costituiscono l'anima delle due rotaie cilindriche che sopportano la maggior parte dello sforzo di trazione. Le ruote sono azionate da motori elettrici con ri-

duttori. Tra le due coppie di ruote di ciascun carrello è inserita una ruota gommata, che appoggia a contatto con lo strato di tessuto gommato, posto in alto all'interno della trave rotaia. La ruota gommata (Fig. 8a e Fig. 9, punto 16) viene spinta in alto, in modo da portare l'aderenza al livello necessario per garantire la marcia del veicolo anche in pendenza.