



L'attraversamento elettrico dello stretto di Messina

Negli anni Cinquanta del secolo scorso, venne realizzata, tra la Calabria e la Sicilia, una campata aerea di attraversamento elettrico che, per estensione dei conduttori e imponenza delle strutture, non aveva eguali nel mondo. Un primato tutto italiano, dalla progettazione, alla fabbricazione dei materiali, alla costruzione, che va ricordato anche per le brillanti e innovative soluzioni adottate.

Umberto Cosmai

LA STORIA

L'idea di un collegamento stradale tra la Sicilia e la Calabria ha suscitato l'interesse dei popoli italici attraverso i secoli, dai Romani ai Carolingi, ai Normanni, ai Borboni fino al neonato Regno d'Italia. Negli anni a cavallo delle due guerre mondiali, furono anche avviati studi per un tunnel sottomarino che evidenziarono enormi problemi dovuti alla scarsa consistenza e alla profondità dei fondali. Appariva invece costruibile un lungo ponte sospeso tra e l'Isola e il Continente e l'idea fu periodicamente riproposta sino ai giorni nostri, suscitando ogni volta accesi dibattiti tra le varie fazioni politiche nazionali e locali sulla sua fattibilità e convenienza. A tutt'oggi, il ponte sullo stretto di Messina rimane il "sogno millenario" irrealizzato.

Migliore fortuna hanno avuto i collegamenti elettrici tra le due sponde dello Stretto. I primi furono cavi sottomarini di tipo telegrafico, a cominciare da quello posato nel settembre 1857 dall'ingegnere

borbonico Jacopo Bozza, a completamento dell'interconnessione di tutte le stazioni della rete telegrafica siciliana con il continente. Il cavo lungo quattro miglia copriva la distanza tra la frazione Cannitello di Villa San Giovanni e la frazione Ganzirri di Messina. Altri cavi subacquei "telegrafonici" vennero posati agli inizi del XX secolo tra Punta Pezzo di Villa San Giovanni e Ganzirri e successivamente in altre zone dello Stretto meno tormentate dalle correnti.

L'opportunità di trasferire energia elettrica dal continente alla Sicilia si manifestò, nella prima metà del secolo scorso, dopo l'entrata in servizio degli impianti idroelettrici della Sila la cui produzione, esuberante per il fabbisogno della Calabria, avrebbe potuto rafforzare l'allora modesto potenziale elettrico isolano.

Già nel 1915, gli ingegneri Jona ed Emanuelli avevano proposto un cavo subacqueo trifase a 15 kV isolato in carta impregnata, con il quale sarebbe stato possibile trasportare una potenza di 15 MVA.

Nel 1921 lo stesso ing. Emanuelli rivide lo studio e propose l'impiego di sei cavi monofase isolati in gomma a 25 kV, a comporre due sistemi trifase da 20 MVA. Ma queste soluzioni subacquee non vennero ritenute affidabili per le difficili condizioni dei fondali e per l'effetto disturbante delle correnti, atteggiamento che non mutò nemmeno nel secondo dopoguerra, nonostante il progresso tecnologico avesse reso disponibili cavi più robusti esercibili a tensioni fino a 150 kV.

Il primo progetto di una linea aerea di attraversamento dello stretto di Messina risale anch'esso al 1921; fu presentato dall'ingegner G. Ferrando alla XXVI Riunione annuale dell'AEI, che quell'anno si teneva in Sicilia. Lo studio prevedeva due terne di conduttori nudi d'acciaio a 137 kV capaci di trasferire una potenza massima di 55 MVA. Ogni conduttore doveva essere sostenuto da due torri strallate alte 277 m. Le sei

torri di ciascun lato dello Stretto dovevano essere distanziate di 112 m, in quanto, sulle campate enormemente più lunghe di quelle fino ad allora costruite, si erano ipotizzate ampie oscillazioni dei conduttori per effetto del vento.

Si trattava di un progetto faraonico di forte impatto ambientale che, anche in un'epoca di minore attenzione per l'aspetto estetico delle infrastrutture, avrebbe suscitato molte perplessità.

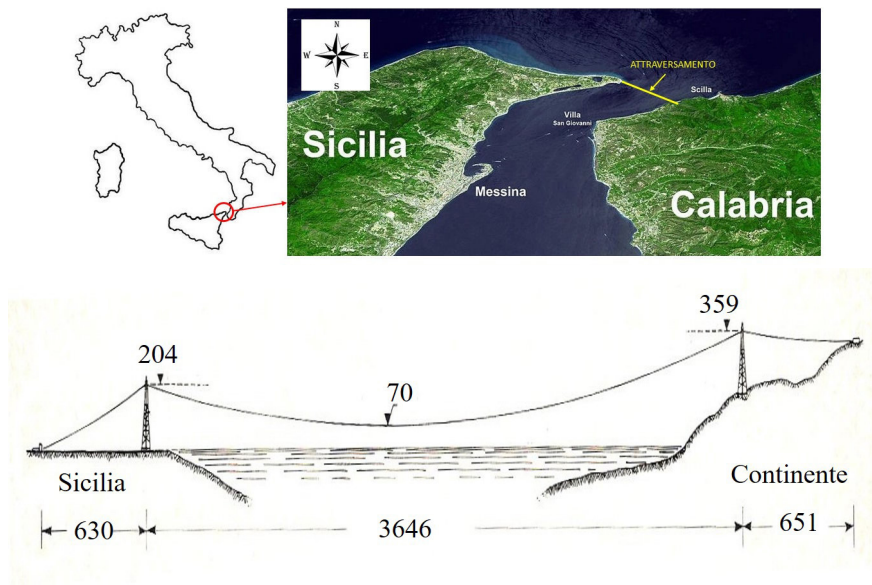
L'esperienza di tesatura e di esercizio di lunghe campate, specialmente quelle di attraversamento del fiume Po, avevano, successivamente, dimostrato che non era necessario tenere i conduttori così distanti tra loro e che una distanza di 20 m poteva essere considerata sufficientemente cautelativa.

Nel 1936 le società Dalmine e Savigliano si orientarono entrambe su una soluzione che ridimensionava fortemente il progetto Ferrando, pur confermando la necessità di predisporre due terne di conduttori per fronteggiare gli sviluppi futuri del sistema elettrico nazionale. Ciascuna terna poteva

Figura 1 - La campata di attraversamento dello stretto di Messina.



Figura 2 - Profilo e planimetria della tratta di attraversamento elettrico dello stretto di Messina.



essere sostenuta alle due estremità da una sola torre strallata o autoportante. Il progetto venne ripreso 10 anni dopo dalla Società Anonima Elektrificazione, SAE, che concepì l'idea di esercire i conduttori a tiro costante, soluzione che avrebbe consentito di ridurre l'altezza delle torri di oltre 50 m. Si trattava di un sistema di contrappesatura assolutamente innovativo per gli elettrodotti anche se già in uso, in dimensioni molto più contenute, nelle funivie e nelle linee di contatto delle ferrovie. Inoltre, nel corso dello sviluppo del progetto, la SAE prese in considerazione la possibilità di supportare entrambe le terne con una sola torre per lato e ne dimostrò la fattibilità. Su queste basi venne elaborato il progetto finale e la sua realizzazione (Figura 1) sotto l'egida della Società Generale Elettrica della Sicilia, SGES.

IL SITO

La zona dello stretto di Messina, benché splendida sotto l'aspetto paesaggistico e turistico, presenta caratteristiche ambientali che rendono difficile la realizzazione di infrastrutture siano esse relative a ponti ed elettrodotti aerei oppure gallerie sottomarine o cavi subacquei. Il fondale dello Stretto nei

punti più favorevoli per un attraversamento con cavi sottomarini raggiunge profondità fino a 110 m ed è composto da sabbie intercalate da strati di conglomerati di scarsa consistenza. Inoltre, i diversi periodi di alta marea tra il Tirreno e lo Jonio producono forti correnti che quotidianamente si invertono di direzione per quattro volte e che nelle zone più strette possono raggiungere la velocità di alcuni metri al secondo.

Devono essere, inoltre, considerati il rischio sismico (catastrofici terremoti avvennero nel 1783 e 1908), l'atmosfera salina aggressiva e i venti costanti che possono raggiungere elevate velocità. Questi ultimi fanno dello stretto di Messina "la più grande galleria del vento naturale" esistente nel mar Mediterraneo.

IL TRACCIATO

I primi progetti prevedevano la realizzazione dell'attraversamento elettrico aereo più o meno nella zona dove erano stati posati i primi cavi telegrafonici, cioè dove la distanza tra le due sponde dello Stretto è minima, il che avrebbe comportato comunque una lunghezza della campata centrale di circa 3 200 m.

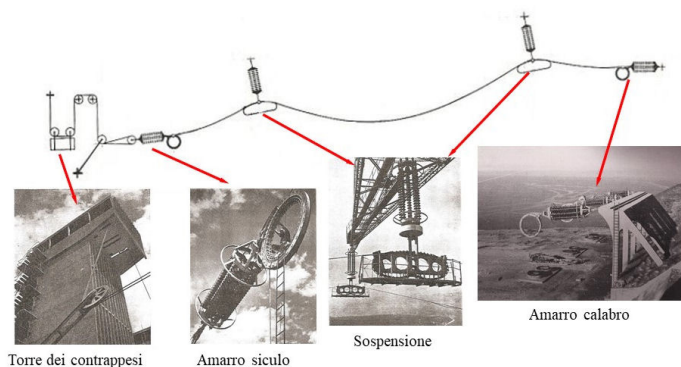
Un più attento studio topografico dimostrò la convenienza tecnica ed economica di collocare il sostegno calabro su una collina in località Santa Trada, a quota 166 m sul livello del mare, nonostante questo avrebbe comportato l'allungamento della campata centrale di circa 400 m. Va qui sottolineato il coraggio dei progettisti che accettarono questo ulteriore estensione di una campata già da molti tecnici ritenuta eccessivamente lunga.

L'ATTRAVERSAMENTO

L'attraversamento, nel suo assetto definitivo, (Figure 2 e 3) era costituito da due terne di conduttori operanti in corrente alternata a 50 Hz, alla tensione concatenata di 220 kV e capaci di trasportare una potenza massima complessiva di 300 MVA. La campata centrale era lunga 3646 m, sostenuta da due torri autoportanti di sospensione chiamate comunemente "piloni". Le campate laterali della tratta, rispettivamente di 630 m e 651 m terminavano dal lato calabro con un basso cavalletto di amarro e dal lato siculo con due torri di contrappesatura.

L'altitudine dei conduttori era di 204 m alla torre di sospensione sicula e di 359 m alla torre di sospensione calabra; il franco minimo dei conduttori, imposto dalla marina per consentire il transito di qualunque tipo di nave, era di 70 m sopra il livello del mare. La distanza tra i conduttori era di 25 m.

Figura 3 - Profilo dell'attraversamento con i componenti principali.



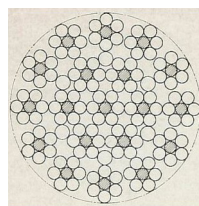
IL CONDUTTORE

La scelta del conduttore fu oggetto di approfonditi studi e di innumerevoli prove di laboratorio.

Il conduttore da adottare doveva rispondere a requisiti di carattere meccanico, elettrico e chimico per molti aspetti contrastanti. Doveva resistere ai carichi elevati imposti dal progetto, possedere caratteristiche elettriche adatte a consentire il transito delle correnti senza eccessivi riscaldamenti e una resistenza alla corrosione adeguata all'aggressività dell'atmosfera marina nella quale doveva operare.

Fu subito chiaro che non si poteva prescindere dall'impiego massiccio dell'acciaio. Furono esaminati conduttori convenzionali di solo acciaio, poi conduttori di fili d'acciaio ricoperti di rame (copperweld) e conduttori con anima d'acciaio e con mantelli esterni di fili d'alluminio, per recuperare la necessaria conducibilità elettrica; ma nessuna delle soluzioni possedeva tutti i requisiti occorrenti. Si rese quindi necessaria la progettazione di un conduttore speciale (Figura 4) la cui costruzione venne affidata alla ditta Redaelli di Milano. Era composto da 19 trefoli (1+6+12), ciascuno formato da sei fili d'acciaio avvolti su un filo centrale di alluminio, uniformemente distribuiti all'interno del conduttore, con l'aggiunta di ulteriori sei fili d'acciaio di riempimento che aumentavano la compattezza e la resistenza

Figura 4 - Il conduttore speciale utilizzato nella tratta di attraversamento elettrico dello stretto di Messina.



Diametro: 26,8 mm
 Sezione totale acciaio: 305 mm²
 Sezione totale alluminio: 45 mm²
 Massa per metro: 2,7 Kg/m
 Carico di rottura: 513 kN
 Tiro: 216 kN (42%UTS)
 ● Fili di alluminio
 ● Fili d'acciaio

meccanica del conduttore, riducendo i vuoti esistenti tra i trefoli.

Per la protezione dalla corrosione, oltre alla zincatura dei fili elementari, era previsto anche un pesante ingrassaggio capace di resistere ai cicli termici senza scorrimenti o percolazioni in un campo di temperature tra $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il grasso venne distribuito uniformemente all'interno del conduttore introducendolo nel cono di cordatura durante l'assemblaggio dei trefoli.

Comunque, venne stimato cautelativamente che la durata della protezione non potesse superare gli 8-10 anni e pertanto venne prevista la sostituzione periodica dei conduttori.

Forse la scelta del conduttore sarebbe stata più facile se fossero stati disponibili i conduttori a fili d'acciaio ricoperti di alluminio (alumoweld), che fecero la loro comparsa sul mercato nel 1958 e che vennero utilmente impiegati, solo molti anni dopo, come funi di guardia e in altre lunghe campate di attraversamento.

LE FONDAZIONI

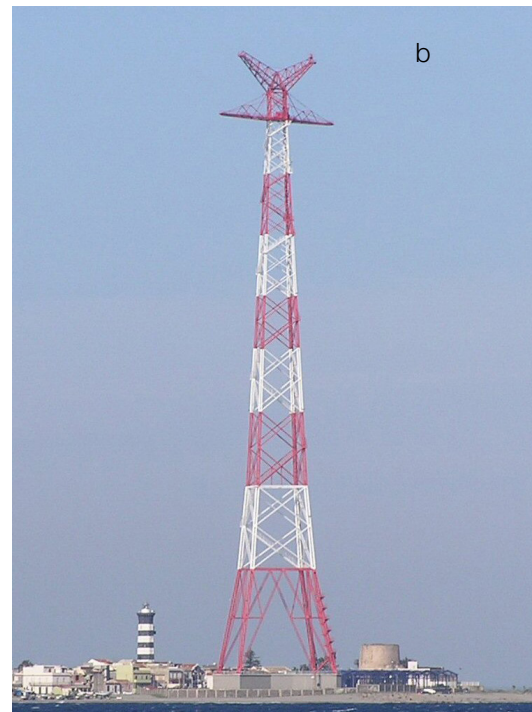
Lo studio delle fondazioni dei sostegni della campata centrale suggerì, dal lato calabro, uno spostamento di alcune decine di metri dalla posizione originale alla ricerca di strati rocciosi più compatti e, dal lato siculo, alla costruzione di una scogliera artificiale per evitare l'arretramento della battigia verso la zona occupata dalla torre.

La soluzione più comune di quattro fondazioni separate: una per ciascun piede della torre, non venne considerata idonea a sopportare le possibili sollecitazioni sismiche della zona e venne scelta, invece, una fondazione monolitica formata da un unico grande blocco a forma di croce alle cui estremità poggiavano i quattro piedi della torre.

I SOSTEGNI

Sei ditte italiane furono invitate a progettare

Figura 5 - Piloni della campata di attraversamento:
a) lato calabro;
b) lato siculo.



i piloni della campata centrale. La scelta cadde infine sulla SAE la cui soluzione, oltre a risultare la più economica, consentiva,

Figura 6 - Membrature cassonate dei piloni.

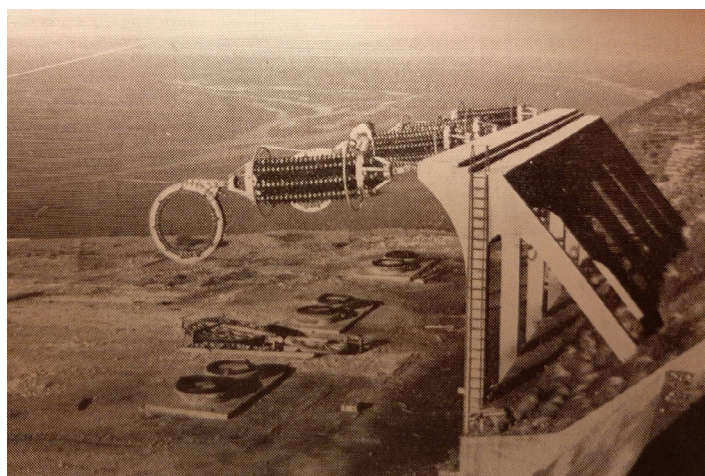


con un limitato aumento di peso di portare due terne di conduttori invece di una sola prevista originariamente. Inoltre, la SAE dava ampie garanzie di possedere le capacità e le attrezzature per effettuare anche la messa in opera delle torri, fondazioni comprese. La versione finale delle due torri di sospensione autoportanti, praticamente uguali, di altezza pari a circa 225 m (Figura 5) era di forma tronco piramidale a base quadrata con diagonale di 50 m e mensola centrale di 75 m. Le membrature d'acciaio, realizzate con tralici saldati a cassone, (Figura 6) erano protette dalla corrosione mediante verniciatura.

Ciascuna torre di sospensione era dotata di una scala di servizio formata da 1114 gradini che partiva dalle fondazioni e arrivava alla sommità estrema delle due cuspidi, ma anche di un ascensore che copriva i primi 200 m. Per quanto riguarda

i sostegni di amarro, fu previsto dal lato calabro un semplice cavalletto di altezza sufficiente per garantire il franco elettrico (Figura 7), mentre dal lato siculo venne installato il sistema di contrappesatura che

Figura 7 - Cavalletto di amarro lato calabro.



caratterizza l'intera opera. I contrappesi (Figura 8) mantenevano i conduttori ad un tiro costante di 216 kN (circa 22 t) corrispondente al 42% del loro carico di rottura. Due sistemi di contrappesi, uno per ciascuna terna, furono alloggiati in un edificio provvisto di due torri in cemento armato precompresso (Figura 9). L'intero attraversamento fu progettato per resistere a eventi sismici di grado X della scala Mercalli e a venti di velocità fino a 150 km/h.

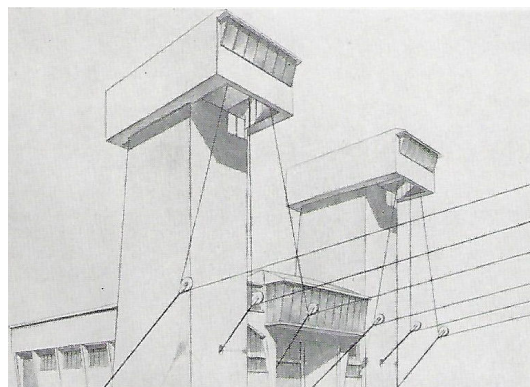
LE SOSPENSIONI

Dopo aver esaminato varie soluzioni, fu adottata una "scarpa a cingoli" (Figura 10) studiata e realizzata dalla società Ceretti e Tanfani di Milano, avente un diametro virtuale di circa 10 m. Questo tipo di sospensione oltre ad accompagnare i conduttori nei loro ampi angoli di uscita dai sostegni, permetteva, all'occorrenza, di farli scorrere di qualche metro per alleviare gli sforzi meccanici sui punti più sollecitati e soprattutto ne agevolava la sostituzione periodica.

GLI AMARRI

Un altro elemento innovativo è rappresentato

Figura 9 - Edificio con la due torri contenenti i contrappesi.



dagli amari (Figura 11). Considerando che le morse di amarro convenzionali a compressione o a bulloni non sarebbero state in grado di sopportare i carichi imposti dal tiro dei conduttori, la scelta cadde su una soluzione in verità comune per le grandi funivie ma mai adottata per gli elettrodotti. Si trattava di tamburi di grande diametro (2.5 m) sospesi, realizzati anch'essi dalla Ceretti e Tanfani, su cui erano avvolte tre spire di conduttore che cedevano gradualmente il tiro per attrito.

Figura 8 - Sistema di contrappesi per mantenere il tiro costante dei conduttori.

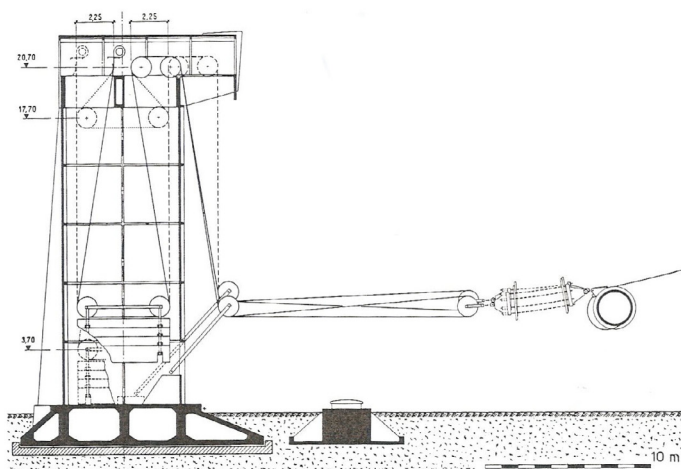


Figura 10 - Equipaggiamento di sospensione a cingoli.

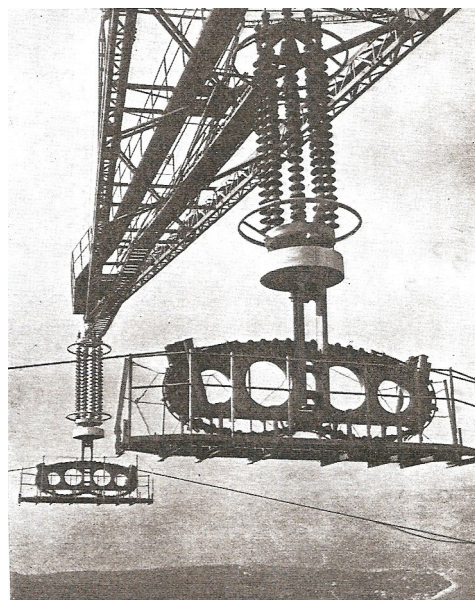
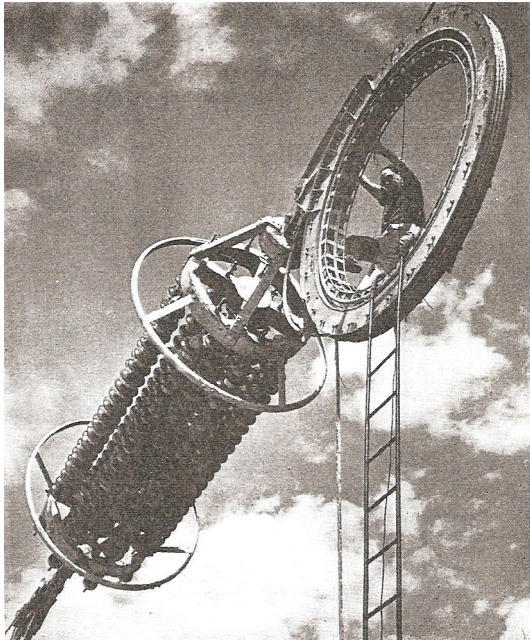


Figura 11 - Equipaggiamenti di amarro.



GLI EQUIPAGGIAMENTI DI ISOLAMENTO ELETTRICO

L'isolamento delle parti in tensione elettrica dalle strutture, visibile nelle figure 10 e 11 fu realizzato mediante catene di isolatori cappa e perno, del tipo utilizzato per i normali elettrodotti a 220 kV, fabbricati dalla società Richard Ginori di Milano e dalla Società Ceramica Italiana di Laveno. In particolare, furono previste dodici catene di isolatori in parallelo, disposte su due cerchi concentrici per gli amarri e otto catene disposte a cerchio per le sospensioni. Un sistema di molle e di bilancieri garantiva una equa ripartizione del carico tra le catene e facilitava la sostituzione sotto tiro di una catena danneggiata.

La morsetteria e gli accessori di linea furono progettati e costruiti dalla società Volpato di Milano.

LA TESATURA DEI CONDUTTORI

Lo stendimento dei cavi fu un'operazione abbastanza complessa e costellata di imprevisti e da alcuni incidenti. Per consentire operazioni tranquille, fu decretata

la chiusura dello Stretto alla navigazione per 22 giorni a partire dal 14 luglio 1955. Purtroppo, durante lo stendimento delle funi pilota una petroliera che non aveva rispettato il blocco navale provocò ingenti danni all'impianto. Di conseguenza, al termine del periodo previsto, la posa dei cavi non fu completata. Siccome un secondo periodo di chiusura dello Stretto non sarebbe stato possibile prima di alcuni mesi, si decise di procedere alla tesatura dei conduttori con il transito delle navi.

Per evitare che i conduttori venissero a contatto con l'acqua del mare, venne utilizzato il metodo della tesatura frenata, messa a punto pochi anni prima dalla Società Edison di Milano. Tuttavia, la necessità di un sincronismo preciso tra argano e freno, che in genere sono posizionati alle due estremità della tratta da tesare, suggerì di riunire le due macchine da un solo lato della tratta (quello siculo) e utilizzare un anello pilota (progetto della società Agudio di Torino). I cavi pilota furono invece posati sul fondo dello Stretto mediante due rimorchiatori, operazione ostacolata dal continuo transito delle navi e da alcuni problemi di incagliamento dei cavi sul fondo presumibilmente contro qualche relitto. Le operazioni di tesatura dei primi quattro conduttori terminarono il 22 settembre 1955.

LO SMORZAMENTO DELLE VIBRAZIONI

Le vibrazioni dei conduttori indotte dal vento per effetto del distacco di vortici (effetto von Karman), si manifestarono fin dalla tesatura dei cavi pilota con continuità e intensità preoccupanti. La presenza costante di venti a bassa turbolenza e gli elevati tiri dei conduttori, che ne riducevano le capacità autosmorzanti, imposero l'applicazione di dispositivi ammortizzatori addizionali. Vennero considerati gli ammortizzatori tipo Stockbridge (assorbitori di vibrazione capaci di operare in una ampia gamma di frequenze) e anche il tipo a festoni basato sul

principio del trasferimento delle vibrazioni su funi non in tiro quindi dotate di maggiore autosmorzamento. La scelta iniziale andò ai festoni, che furono realizzati con spezzoni dello stesso conduttore usato per le fasi e disposti come illustrato nella figura 12. Dopo alcuni anni, però, si verificarono rotture per fatica dei conduttori vicino alle morse dei festoni che furono quindi sostituiti dagli ammortizzatori tipo Stockbridge prodotti dalla ditta SALVI di Milano. Essendo lo spettro delle frequenze di vibrazione troppo ampio per poter essere coperto da un solo tipo di ammortizzatore, ne furono previsti due (Figura 13):

- il modello base capace di operare nel campo di frequenza 5-60 Hz;
- il modello HF previsto per la gamma più alta delle frequenze: 13-112 Hz.

Data la elevate quantità di energia vibrante da dissipare, gli ammortizzatori furono realizzati in formazione binata, cioè consistente in due ammortizzatori uguali in parallelo fissati ad un profilato a U d'acciaio portante il morsetto di collegamento al conduttore. Sei ammortizzatori (quattro unità di base e due HF) furono installati a ciascuna estremità sia della campata centrale sia di quelle laterali e posizionati come illustrato nella Figura 13. Tuttavia, dopo quattro anni, vennero scoperte rotture di fili elementari del conduttore,

Figura 12 - Festoni antivibranti e loro distribuzione nella campata centrale.

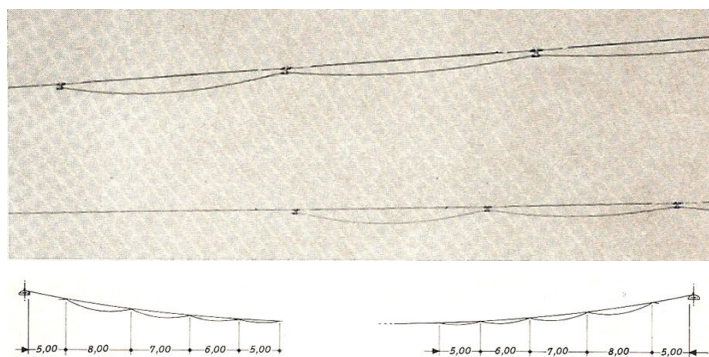
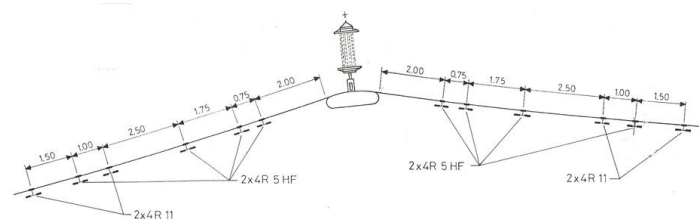


Figura 13 - Ammortizzatori di vibrazione tipo Stockbridge usati nelle campate della tratta di attraversamento e loro distribuzione sui conduttori.



su due fasi, in corrispondenza del primo ammortizzatore della campata centrale dal lato siciliano. Prove di laboratorio dimostrarono che le rotture erano causate dall'eccessivo peso del profilato d'acciaio che alle alte frequenze non permetteva agli ammortizzatori di muoversi. Calcoli analitici, eseguiti con i primi programmi di calcolo dedicati allo studio delle vibrazioni dei conduttori aerei, sviluppati dal Politecnico di Milano, confermarono che gli stessi ammortizzatori in configurazione singola, invece che binata, sarebbero stati in grado di controllare le vibrazioni entro limiti che non avrebbero comportato affaticamento dei conduttori. Gli ammortizzatori singoli sostituirono i binati con sequenza inalterata ma fatta slittare di un metro verso il centro campata, per non insistere su punti dei conduttori già sottoposti a cicli di fatica.

L'INAUGURAZIONE

Nel novembre 1955, l'opera fu presentata ai comitati di studio del CIGRE che quell'anno si riunivano in Italia (erano passati circa tre anni dall'inizio dei lavori). L'attraversamento entrò in servizio il 27 dicembre 1955 e l'inaugurazione ufficiale ebbe luogo il 15 maggio 1956. A quei tempi, si usava ancora inaugurare un'opera pubblica dopo la sua

definitiva messa in funzione.

L'Associazione Nazionale Italiana Architetti ed Ingegneri ANIAI conferì, nel 1957, il premio per la migliore realizzazione dell'ingegneria italiana all'attraversamento elettrico dello stretto di Messina. Il premio era alla sua seconda edizione: l'anno prima era stato assegnato al progetto del transatlantico Cristoforo Colombo gemello dello sfortunato Andrea Doria, i due transatlantici considerati all'epoca i più belli del mondo.

L'ESERCIZIO E LA DISMISSIONE

L'attraversamento rimase in servizio per 38 anni. Per i primi anni furono utilizzati solo quattro conduttori, a comporre un circuito trifase, esercito a 150 kV, più un conduttore di scorta; nel 1971, furono installati altri due conduttori, completando i due circuiti originariamente previsti, e portando la tensione del collegamento a 220 kV. L'ultima sostituzione dei conduttori venne eseguita nel 1980. Nel 1985 entrarono in servizio quattro cavi sottomarini che connettevano permanentemente la rete di trasmissione a 380 kV del continente con quella siciliana, con una capacità di trasporto di 1 000 MVA.

Figura 14 -Condizione attuale dei piloni.



L'attraversamento aereo perse quindi di importanza e si cominciò a considerarne lo smantellamento in relazione agli elevati costi di esercizio. Tuttavia, dopo una manutenzione straordinaria delle strutture, l'impianto venne mantenuto in servizio per altri 10 anni e fu definitivamente dismesso nel 1994. Furono rimossi i conduttori e gli armamenti lasciando solo le torri che ormai sono parte del paesaggio e testimoniano di una grande opera di ingegneria, che ancora oggi sarebbe considerata tra le maggiori tratte di attraversamento esistenti al mondo. L'ENEL ha donato i due piloni ai rispettivi comuni di appartenenza territoriale: Messina e Villa san Giovanni, che ne curano la manutenzione. Il comune di Messina, in occasione del Gran Giubileo dell'anno 2000, ha realizzato un impianto di illuminazione artistica del suo pilone che di notte offre uno spettacolo suggestivo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Società Generale Elettrica della Sicilia
L'attraversamento elettrico dello stretto di Messina
1958 Edizione fuori commercio. Editrice Dedalo
- [2] M. Falco, M. Gasparetto, P. Nicolini, G. di Giacomo
Comportamento vibratorio di lunghe campate di attraversamento, equipaggiate con conduttore singolo e con dispositivi smorzanti. L'Energia Elettrica, fascicolo n.5. Volume L, 1973
- [3] ENEL Direzione Studi e Ricerche - Centro di Ricerca Elettrica Campata di attraversamento dello stretto di Messina – Comportamento vibratorio del conduttore equipaggiato con ammortizzatori del tipo Stockbridge. Agosto 1975

NOTE

1. Le quote riportate nelle figure sono espresse in metri.
2. Le figure in bianco e nero son tratte dai documenti [1] e [2].