

*ELIO LO GIUDICE, GIAN LUIGI DI MARCO,  
AGOSTINO CURTO PELLE, ROBERTA MANTIONE*

*Il Ponte in c.a. sul Cassibile .  
Una struttura a spinta eliminata.*

*Abstract*

The reinforced concrete bridges called Bow-String, were widely used in the 20s and 30s of the last century in Italy and abroad. In Sicily there are many of these fine structures that perform excellently in the service. To confirm the quality of Sicilian bridges is worth the view expressed by G. Albenga in his famous treatise "I Ponti", which reports the bridge on Mazzaro river, at Mazara del Vallo, as one of the most successful works of this type. In this paper, a review of some works in Sicily is presented and the bridge on Cassibile river, near Syracuse, is deeply studied. It is a historical bridge allowed, no damage, the passage General Montgomery's armored units of British Army in July 1943.

In particular, in the study, we compared numerical analysis with the results of a set up of experimental investigations particularly accurate.

*Premessa*

I ponti in calcestruzzo armato con schema statico ad "Arco a Spinta Eliminata", cosiddetti Ponti Bow-String, furono largamente impiegati negli anni 20 e 30 del secolo scorso sia in Italia che all'estero. In Sicilia esistono ancora oggi molte di queste pregevoli strutture che assolvono egregiamente al servizio su strade provinciali e statali. Purtroppo parte di queste opere è andata perduta a causa di dissennate demolizioni e più raramente per eventi bellici.



*Fig. 1 - Ponte sul fiume Mazzaro – Mazara del Vallo*

Si tratta di una tipologia strutturale per mezzo della quale si realizza un impalcato appeso agli archi che si sviluppano al di sopra di esso. Tale schema derivava direttamente dalla tipologia di arco a due cerniere<sup>[1]</sup>, e si otteneva rendendo isostatica la struttura per vincoli esterni e collegando le imposte con un tirante atto ad assorbirne la spinta scaricando così le fondazioni. Oltre alle sospensioni di impalcato era necessario talvolta disporre collegamenti fra i due archi, con funzione di controvento di stabilizzazione, tuttavia questi elementi potevano essere omessi in tutti quei casi (in realtà rarissimi) in cui la sezione dell'arco consentivano di conferire al sistema un adeguato contrasto nei riguardi della stabilità fuori piano.

Questi ponti trovarono e continuano a trovare largo impiego nei casi in cui esiste un franco molto ristretto tra il piano stradale e il piano limite inferiore entro cui possono svilupparsi le sottostrutture (situazione tipica degli attraversamenti fluviali in zona pianeggiante) ovvero quando non sia possibile ingombrare l'alveo sottostante.

Per altro verso gli inconvenienti che presentavano tali strutture erano rappresentati da una notevole complessità costruttiva e dal regime statico di trazione degli elementi di sospensione e delle travi reggispinta che a causa di ciò potevano denunciare un quadro fessurativo. Quest'ultimo problema costituì una seria preoccupazione per i progettisti che cercarono di ovviare attraverso un accurato studio delle fasi costruttive, che prevedevano di far gravare il peso proprio sugli elementi in trazione prima del loro rivestimento con il calcestruzzo<sup>[2]</sup>.

L'Albenga nel suo celebre trattato sui Ponti<sup>[1]</sup> osserva preliminarmente che “Non è facile dare a questi archi, ed in particolare a quelli a spinta eliminata da un tirante, una linea elegante ed estetica” ed ancora “altre difficoltà oppongono i tiranti di sospensione, troppo esili se interamente metallici [...]. Anche la travata di cemento armato presenta delicati problemi di proporzionamento; sovente è tozza e pesantissima.

Al di là del severo giudizio dato dall'Albenga sugli aspetti estetici e nonostante le complessità costruttive i ponti bow-string trovarono larghissimo impiego su tutto il territorio nazionale e sono numerosi ponti attualmente in servizio.

Il motivo di tale successo è da ricercare nella versatilità di impiego in corrispondenza dell'attraversamento di corsi d'acqua in zone pianeggianti e forse in una certa tendenza compositiva del periodo.



*Fig. 2 - Ponte sul Fiume Belice - SP 22 - Particolare controventi*

Tuttavia non può essere trascurata la consapevolezza da parte dei progettisti dell'epoca circa l'intrinseca robustezza di tali strutture che consentiva di raggiungere notevoli garanzie nei riguardi delle azioni eccezionali garantendo così quella caratteristica di robustezza tipica degli antichi manufatti in calcestruzzo armato. Nel suo trattato sui Ponti l'Albenga ricorda come opere significative aventi schema statico di arco a spinta eliminata:

- il ponte Alessi,
- il “ponte di Mazzara del Vallo sul Mazzaro (1926-28) con luce di m 46.89, accompagnato da due trovatelle laterali di 10 m, di Aldo Assereto: una delle opere meglio riuscite di questo tipo”;
- il ponte di San Bernardino ad Intra di Luigi Santarella con 74 m di luce;
- il ponte sul Sinni, che raggiunge la luce di m 96.54

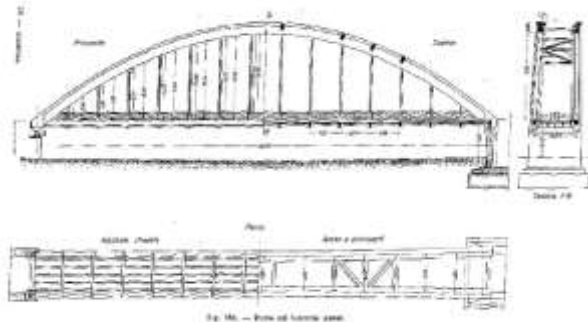


Fig. 3 – Ponte sul Fiume Alessi

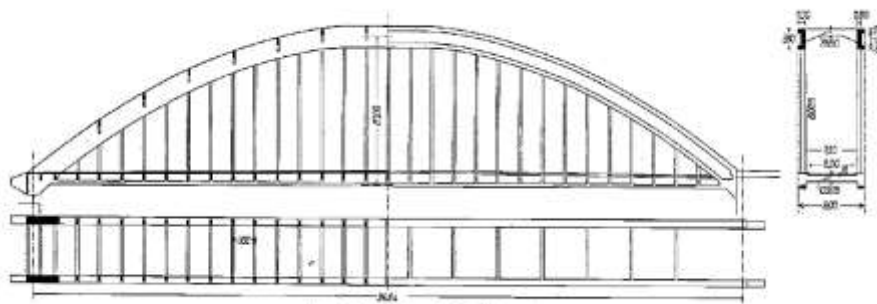


Fig. 4 – Ponte sul Sinni

### Manufatti Siciliani

Dei numerosi manufatti siciliani si riporta, nel seguito la sintesi dello studio di dettaglio di quattro manufatti collocati nella Sicilia occidentale, in quella centro meridionale ed in quella orientale. Solamente di uno di essi si forniranno le risultanze di uno studio sperimentale propedeutico alla valutazione delle condizioni di servizio.

Si farà pure cenno a due manufatti non più esistenti demoliti per fare posto a ponti del tipo a travata.

Il primo manufatto esaminato si trova nel territorio del Comune di Santa Margherita di Belice (provincia di Trapani) sulla Strada Provinciale 22 Fig. 5 e 10 si tratta di un manufatto il cui disegno ricorda molto quello sul Mazzaro di cui si dirà avanti; di esso non si hanno, allo stato, documenti progettuali; le uniche notizie di cui si è in possesso riguardano la data di costruzione 1931<sup>(2)</sup> e gli interventi di restauro strutturale realizzati tra il 1994 ed 1995<sup>(3)</sup>. Vale la pena rilevare come il manufatto si trova in una zona colpita dal violento sisma del 1968.



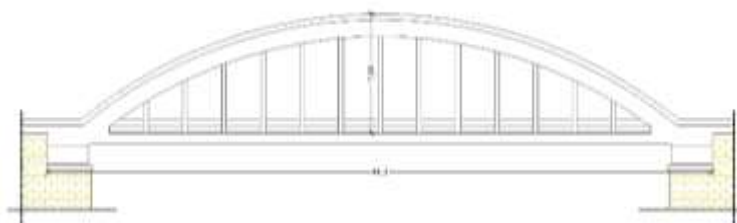
*Fig. 5- Santa Margherita di Belice – SP 22*



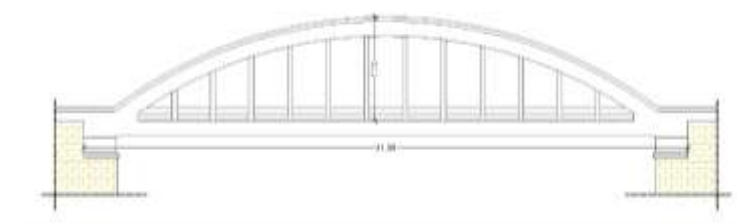
*Fig. 6- Casteltermini - SP 58*



*Fig. 7- Casteltermini - SP 20*



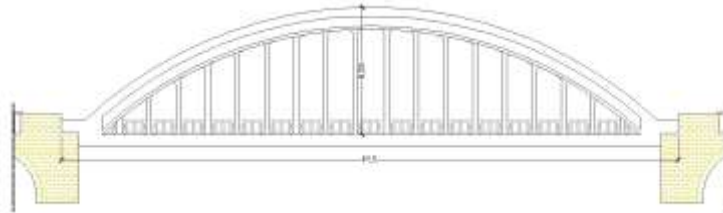
*Fig. 8 - Prospetto ponte sulla SP 58 - Casteltermini*



*Fig. 9- Prospetto ponte sulla SP 20 - Casteltermini*

Due ulteriori manufatti si trovano nel territorio del Comune di Casteltermini, in particolare il primo sulla S.P. 58 in Fig. 6 e 8 mentre il secondo sulla S.P. 20 riportato

in Fig. 7 e 9. Anche questi manufatti, ad oggi, non si posseggono documenti tuttavia durante le operazioni di rilievo erano evidenti i segni di interventi di risanamento.



*Fig. 10 - Prospetto ponte sulla SP 20 - Santa Margherita di Belice*

Infine il ponte sul Cassibile, sulla SS 115 di cui meglio si dirà più avanti Fig. 12. Il manufatto, costruito nel 1930 dalla Ferrobeton, si trovava (e si trova ancora) su una arteria di collegamento tra le città di Avola e Siracusa, esso consentì il transito delle colonne corazzate inglesi durante l'invasione della Sicilia orientale nel luglio del 1943. Quindi si tratta di una struttura che ha sorretto senza danni carichi enormemente superiori<sup>[3]</sup> a quelli per cui era stata progettata<sup>[4]</sup>. Confermando così quanto detto in merito alla robustezza della tipologia strutturale.

Il ponte è ad unica campata con luce teorica di circa 30 metri, monta di 6,0 metri ed un franco di 5.0 metri. L'interasse tra le arcate è di 8,30 metri circa, fra le quali sono



*Fig. 11 Ponte sul Fiume Cassibile*

predisposti due collegamenti con funzione di controvento di stabilizzazione. La sovrastruttura poggia su pile in calcestruzzo armato. L'opera versa in un serio stato di degrado che allo stato attuale ha interessato le parti corticali degli elementi in calcestruzzo armato con conseguente espulsione del copriferro ed aggressione delle armature. Lo stato di degrado tuttavia non ha indotto particolari deterioramenti nelle armature longitudinali, ma ha quasi del tutto distrutto le armature trasversali.

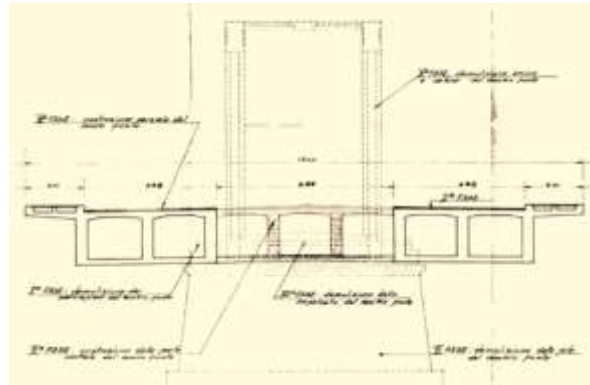
Dei due ponti demoliti di cui si è fatto cenno in premessa non si posseggono, almeno allo stato attuale delle ricerche, documenti progettuali dai quali evincere le principali caratteristiche geometriche, si posseggono invece numerose foto d'epoca. Il primo manufatto si trovava a Mazara del Vallo (TP) e serviva ad attraversare il Fiume Mazzaro che divide in due la città. Fig. 1.

Anche il secondo ponte serviva per collegare le due parti della città Agrigentina di Licata ed oltrepassare il Fiume Salso in prossimità della foce, a differenza degli altri finora citati esso si presentava come un manufatto a tre campate. Esso consentì il



*Fig. 12 - Ponte sul fiume Salso - Licata*

passaggio di parte dell'ottava armata Americana nel Luglio del 1943. Venne demolito alla fine degli anni '60, per far posto ad un elegante ponte a travata realizzato su progetto del Morandi. Singolare è la vicenda di questo manufatto in quanto costituì parte integrante del progetto costruttivo del nuovo ponte così come si evince da una delle tavole esecutive del progetto del Morandi (Fig. 14).



*Fig. 13 - Tavola 10 - Progetto Esecutivo - Fasi di realizzazione del nuovo Ponte - Prof. Ing. R. Morandi*

Di seguito vengono riportate sinteticamente le principali caratteristiche geometriche (in cm) dei ponti esaminati:



Parametro geometrico	Platani - SP 58	Platani- SP 20	Belice- SP 22	Torrente Alessi	Fiume Sinni	Cassibile SS 115
Luce impalcato	4430	4150	4150	6500	9664	3146
Monta	780	856	713	1370	2114	600
Franco	640	790	590	1210	2000	500
Largh. carreggiata	600	520	500	420	700	770
Sez. arco	150*70	150*75	130*70	160*160	280*100	110*60
N° tiranti	13	18	12	14	29	10
Sez, tiranti	30*60	30*60	30*60	-	25*60	30*36
Interasse tra i tiranti	260	190	270	433	302	286
N° controventi	3	8	3	-	-	2
Rapp. luce/monta	5.68	4.84	5.82	4.74	4.57	5.24

#### Metodi di calcolo e di progetto

Il Sistema Combinato Arco-Trave nelle configurazione Bow-String costituiva uno schema che, al di là delle valenze di efficienza statica e funzionale, presentava speciali complicazioni sul piano del calcolo del regime statico, in relazione all'elevato grado di indeterminazione statica interna cui faceva da contraltare l'isostaticità esterna. Naturalmente le complicazioni di calcolo erano tali perché affrontate con metodi manuali, ciò favorì lo sviluppo di metodi approssimati<sup>(4)</sup> e di metodi che, sebbene rigorosi, introducevano assunzioni e semplificazioni concettuali finalizzate ad alleviare l'onere del calcolo, la più significativa delle semplificazioni era rappresentata dal considerare gli elementi verticali di collegamento fra arco e trave come incernierati, sì da ricondurli a dei pendoli<sup>(1,5)</sup>. Alcune di queste semplificazioni trovarono una felice congruenza con le procedure costruttive.

Comune a tutti i metodi di calcolo si trova il problema della ripartizione del carico, e segnatamente quello

dell'assegnazione dei carichi permanenti, o di una quota parte di essi all'arco. Quest'ultimo disegnato generalmente come funicolare, operazione questa che a parte l'aspetto decisionale, non poneva particolari

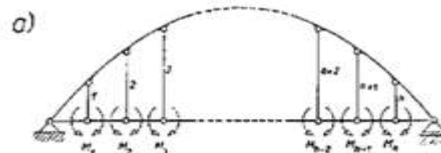


Fig. 14

difficoltà. Diversamente, per i carichi accidentali, che proprio per la loro variabilità di posizione chiamano in causa, soprattutto per condizioni dissimmetriche, la

collaborazione dell'arco e della trave ovvero la precipua caratteristica del sistema combinato. Allo scopo si ipotizzò il funzionamento in parallelo delle due figure strutturali componenti il sistema ripartendo in carico, tra arco e trave, in funzione delle rispettive rigidità<sup>(4, 6)</sup>. Tale modo di procedere comportava sicuramente una eccessiva semplificazione del calcolo spesso sovrastimando la quota di carico attribuita all'arco non appena questo denotava un forte abbassamento<sup>(7)</sup>. In alternativa, venivano impiegati i metodi utilizzando la teoria dell'elasticità. Questi metodi, che oggi si collocano nell'ambito della Meccanica delle Strutture facevano esclusivo riferimento al cosiddetto Metodo delle Forze. Non appare inutile osservare che la scelta del sistema principale, ancorché ininfluenza sul piano concettuale, finiva per essere determinante ai fini operativi e del calcolo numerico a causa della possibilità di insorgenza di fenomeni di instabilità numerica durante le fasi della soluzione del sistema di equazioni di elasticità (Mueller Breslau). In particolare ove si fosse scelto come sistema principale quello ottenuto sconnettendo i montanti a sforzo normale e le estremità della connessione trave-impalcato si sarebbe ottenuto un sistema di equazioni di elasticità poco adatto alla soluzione con uno degli usuali metodi di soluzione. Diversamente se le sconnessioni interne avessero riguardato l'impalcato in corrispondenza dei montanti (oltre naturalmente le estremità del nodo trave arco).

In Fig. 15 si riporta uno schema adottato per sistemi combinati tratto da un studio particolarmente accurato del Raymond<sup>(5)</sup>.

Le equazioni di elasticità forniscono:

$$\sum_k \eta_{ik} M_{ik} = \eta_{i,0} \quad i = (1, \dots, n); k = (1, \dots, n)$$

Dove i parametri di spostamento generalizzato valutato sul "sistema principale" sono:

$\eta_{i,k}$  = parametro di spostamento nella i-esima sezione dovuto alla iperstatica della k-esima sezione;

$\eta_{i,0}$  = parametro di spostamento nella i-esima sezione dovuto al carico;

$M_k$  = incognita iperstatica nella k-esima sezione.

#### *Il ponte sul Cassibile Analisi delle risultanze sperimentali e numeriche*

Il modello adottato per l'analisi FEM del ponte sul fiume Cassibile è in sintonia con il modello proposto dal Raymond, in cui i montanti sono modellati come aste vincolate agli estremi tramite cerniere.

Al fine di valutare le condizioni statiche del ponte sono state svolte

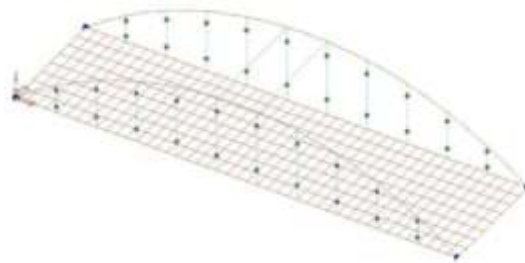


Fig. 15- Modello di calcolo agli elementi finiti



prove di carico statico, per valutare le deformazioni dell'impalcato, e la valutazione dello stato tensionale mediante estensimetri elettrici collocati sulle barre di armatura. Lo stato tensionale in situ è stato determinato con la tecnica del rilascio applicata ad una barra d'armatura appartenente ad un pendino. La variazione di deformazione misurata sperimentalmente è risultata essere pari a  $70 \mu\text{m/m}$  mentre quella determinata per mezzo dell'analisi FEM è stata valutata in  $79 \mu\text{m/m}$ , quindi in sostanziale accordo. Le risultanze in termini di spostamenti e tensioni hanno consentito di verificare la rispondenza con le previsioni di calcolo. Si riporta infine il confronto tra i diagrammi del momento flettente  $[\text{KN}\cdot\text{m}]$  ottenuto tra il metodo manuale e l'analisi agli elementi finiti.

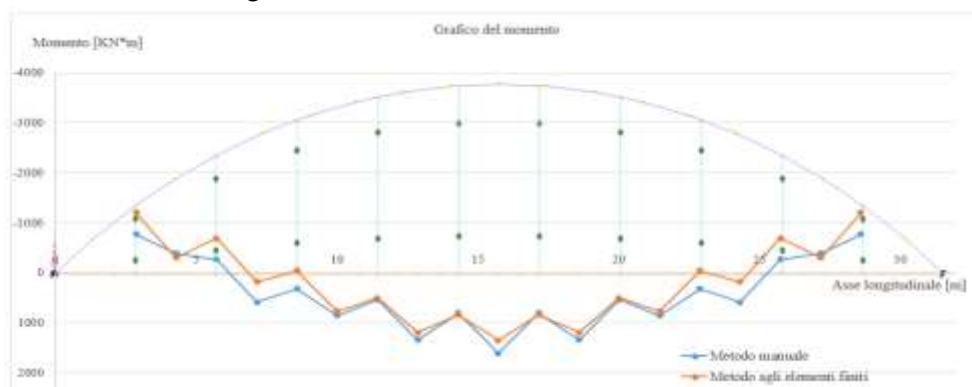


Fig. 16 – Confronto tra i diagrammi dei momenti

### Conclusioni

A valle degli studi ad oggi condotti su tutti i manufatti esaminati ed in particolare sul Cassibile emerge come i ponti in calcestruzzo armato con schema statico ad arco a spinta eliminata siano strutture robuste che hanno sopportato e continuano a sopportare carichi eccezionali senza denunciare particolari sofferenze e che sono arrivate a noi, sia pure fortemente aggredite dal degrado, ma in condizioni tali da poter assolvere al loro servizio. Gli interventi di risanamento strutturale cui sono stati sottoposti hanno denunciato nel tempo la inadeguatezza dei materiali impiegati, troppo rigidi rispetto al supporto. Nel caso del ponte sul Cassibile si è ritenuto di consigliare l'Amministrazione di porre in atto un complesso di interventi miranti a ripristinare le armature trasversali a risanare i montanti e tutte le strutture costituenti l'impalcato. Si è ritenuto così di evitare interventi eccessivamente invasivi come introduzione di stati coattivi ed aggiunta di elementi di rinforzo in carpenteria metallica. Tali interventi, spesso utilizzati, al di là della loro valenza sul piano dell'efficienza statica (peraltro dubbia), snaturano l'idea originale che ha guidato la composizione strutturale.

### *Bibliografia*

- (1) Albenga G., (1958), *I Ponti*, UTET, Torino.
- (2) Petrangeli M.P., (1988), *Costruzione di Ponti*, Editoriale ESA, Milano.
- (3) Bonanno L., (1999), *Architetture del Paesaggio – Ponti di Sicilia*, MEDINA EDITORE, Palermo.
- (4) Mancuso P., Sorce A., (1997), *Restauro strutturale del ponte in c.a. ad arco a spinta eliminata sul fiume Belice lungo la SP Salaparuta- Santa Margherita*. in “la Qualità nel Costruire” Caltanissetta.
- (5) Raymondi C., (1955), *Sullo studio dei sistemi combinati arco-trave*, Giornale del Genio civile -Fascicolo 9°.
- (6) Santarella L. Miozzi E., (1948), *Ponti Italiani in cemento armato*, Hoepli.
- (7) Raymondi C., (1996), *Scienza delle Costruzioni*, TEP, Pisa.

### *Note:*

[1] L'Albenga nel suo trattato fa cenno ad una singolare tipologia di ponte ad arco in calcestruzzo armato derivato da uno schema di arco a tre cerniere. Tali singolari manufatti furono progettati dall'ing. Guido Sassi per le strade coloniali italiane in Eritrea. Notizie più dettagliate e precise si trovano nei pregevoli studi di T. Iori e I. Giannetti, *Storia dell'ingegneria Strutturale in Italia*, GANGEMI EDITORE.

[2] “Si preferisce allora realizzare gli archi al di sopra della strada e si approfitta dell'impalcato stradale a livello delle imposte per dare ad esso la funzione reggisplinta. Dal punto di vista economico i vantaggi sono notevoli, perché si può scegliere il ribassamento che si vuole; le fondazioni poi, devono sopportare solo carichi verticali, e la struttura non risente delle variazioni termiche. Occorre però evitare, nelle opere in conglomerato, che l'impalcato si lesioni; a ciò sono particolarmente sensibili le solette, perciò nelle grandi strutture si consegna la spinta alle sole travi di bordo, mentre l'impalcato è sorretto, tramite travi trasversali, direttamente dai tiranti che scendono dall'arco. [...] Universalmente usata è nelle grandi strutture la pratica di realizzare l'intera opera tenendo in questa fase i ferri delle travi di bordo isolati dal conglomerato; così le travi nella loro interezza assorbono la spinta da carico accidentale, e sono molto meno soggette a lesionarsi” in V. Franciosi *Scienza delle Costruzioni* Liguori 1967.

[3] I carri armati inglesi impiegati dalle unità corazzate dell'Armata inglese comandata dal generale Montgomery possedevano le seguenti caratteristiche in termini di peso: carro Crusander II 20 t, carro Valentine III 18 t, carro Matilda 27 t., carro Churchill 40 t. Tuttavia fonti documentali indicano che, in occasione dello sbarco in Sicilia, le truppe corazzate inglesi furono dotate di carri americani Sherman di 30 t.

[4] Circa i carichi per i quali venivano progettati i ponti non è stato possibile ritrovare una norma a cui fare riferimento, notizie a tal proposito possono invece ritrovarsi in G. Albenga “I Ponti – L'esperienza” Parte VI “Forze ed azioni sui ponti”. Dove, tra l'altro, si trova conforto circa la robustezza che hanno presentato i ponti italiani al passaggio dei carichi militari.