



EVOLUZIONE DELLE TRAVI PREM attraverso gli sviluppi tecnici, tecnologici e normativi

Livio Izzo

Assoprem, Isola Vicentina, Vicenza
izzo@assoprem.it

Fausto Minelli

Università degli Studi di Brescia, Brescia
fausto.minelli@unibs.it

Giovanni Plizzari

Università degli Studi di Brescia, Brescia
giovanni.plizzari@unibs.it

SOMMARIO

Questo articolo tratta delle Travi PREM, un elemento strutturale originale, brevettato nel lontano 1964 in Italia e preso in considerazione dalle Norme Tecniche italiane solo nell'edizione del 2008, sebbene milioni e milioni di metri siano stati posati in migliaia di cantieri negli ultimi 56 anni. Il 18 settembre 2009, con "Prot. 116/09 dell'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici", sono state approvate le Linee guida per l'uso di travi tralicciate incorporate nel getto di calcestruzzo e le procedure per la loro accettazione per le applicazioni strutturali, secondo le disposizioni dei punti 4.6 e 11.1 del DM 14/01/2008. Questo documento distingue tre categorie di travi: a) miste acciaio calcestruzzo; b) calcestruzzo armato; c) con comportamento ibrido. Il presente articolo ha lo scopo di mostrare come la grande varietà di morfologie esistenti prima delle NTC 2008, tutte riferibili alla categoria c), dopo la pubblicazione delle Linee Guida sono tornate rapidamente alle

categorie a) e b) con un'unica eccezione in tutto il panorama nazionale. In particolare, il documento riassume i percorsi seguiti nonché le implicazioni morfologiche, materiche, produttive e di calcolo oltre all'efficienza delle morfologie risultanti con uno sguardo ai possibili sviluppi futuri e come questa tendenza continui anche dopo che il DM 17/01/2018 di aggiornamento al DM del 2008 è stato pubblicato.

ABSTRACT

THE EVOLUTION OF PREM BEAMS THROUGH TECHNICAL, TECHNOLOGICAL AND NORMATIVE DEVELOPMENT

This article refers to PREM Beams, an original structural element, patented in the far 1964 in Italy and not considered by Italian Standards till the very near edition dated 2008, although millions and millions meters have been laid in thousands of building sites in the last 56 years. On September 18, 2009, with "Prot. 116/09 of the General Assembly of the Superior Council of Public Works", the Guidelines for the use of steel truss steel-beams incorporated in the concrete casting and the procedures for their acceptance for structural applications, according to the provisions of points 4.6 and 11.1 of DM 14/01/2008, were approved. This document distinguishes three categories of beams: a), mixed steel-concrete; b), reinforced concrete; c), any other type. The present paper aims to show how the great variety of morphologies before NTC 2008, all referable to category c), after the publication of the Guidelines have quickly returned to categories a) and b) with a single exception across the national scene. In particular, the paper summarizes the paths followed as well as the morphological, material, productive and calculation implications in addition to the efficiency of the resulting morphologies with a look at possible future developments and how this trend continues also after the new DM 17/01/2018 was published.

PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

travi PREM, travi prefabbricate, travi composte acciaio calcestruzzo, travi tralicciate miste

PREM beams, prefabricated beams, composite steel concrete beams, composite truss beams

RINGRAZIAMENTI | ACKNOWLEDGMENTS

Gli Autori desiderano ringraziare l'Associazione ASSOPREM, il Consorzio CIS-E e tutti i membri del Gruppo di Lavoro e del Gruppo di Ricerca CIS-E – Assoprem per l'intensa attività svolta e per aver messo a disposizione i documenti e le immagini utili alla redazione dell'articolo.

INTRODUZIONE

Il 18 Settembre 2009 venivano approvate, con Prot. 116/09 dell'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, le "Linee Guida per l'utilizzo di travi tralicciate in acciaio conglobate nel getto di calcestruzzo collaborante con le procedure per il rilascio dell'autorizzazione all'impiego" (nel seguito LG), dando seguito a quanto previsto dai punti 4.6 e 11.1 del DM 14/01/2008 (nel seguito NTC 2008).

Questo documento contemplava tre categorie di travi, tutte con una Fase 1 di autoportanza ed una Fase 2 di esercizio:

Categoria a): travi miste acciaio calcestruzzo;

Categoria b): travi in calcestruzzo armato;

Categoria c): con comportamento ibrido.

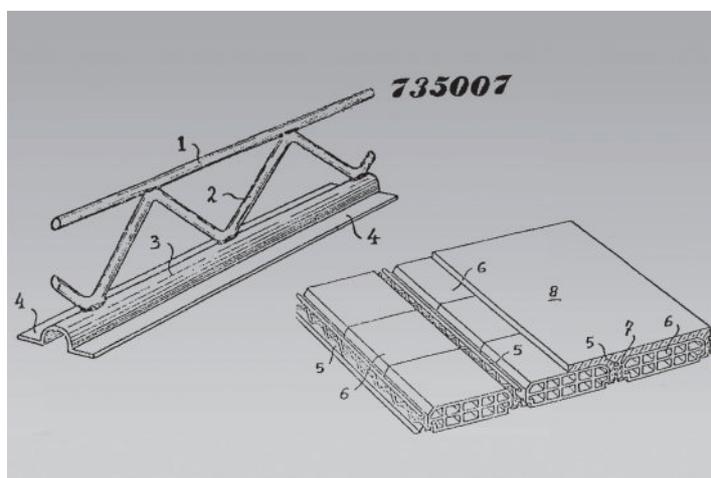
La presente memoria vuole illustrare come la grande varietà di morfologie ante NTC 2008, di fatto tutte riconducibile alla categoria c), dopo la pubblicazione delle Linee Guida siano rapidamente rientrate nelle categorie a) e b) con un'unica eccezione in tutto il panorama nazionale.

Dopo aver ripercorso storicamente l'evoluzione delle travi tralicciate miste, l'articolo illustra le strade seguite, le implicazioni morfologiche, materiche, produttive e di calcolo in aggiunta alle implicazioni sull'efficienza delle morfologie risultanti, con uno sguardo alle possibili future evoluzioni.

EVOLUZIONE STORICA DELLE TRAVI TRALICCIATE MISTE

>> 1964

Il Signor Prassede Savoia presenta la domanda di brevetto per invenzione industriale dal titolo: "Armatura autoportante per orizzontamenti in calcestruzzo armato" (figura 1) che viene rilasciato nel 1966. Il brevetto verrà acquistato dall'ingegner Giuseppe Borneto che ne avvia l'impiego nell'edilizia.



1. Brevetto presentato dal Signor Prassede Savoia.

Si trattava di un traliccio composto da ferri tondi e da un piatto inferiore sagomato, saldati fra loro ma, come si vede bene anche dal titolo del brevetto, l'elemento è pensato, senza alcun dubbio, come appartenente alla tecnologia del cemento armato. D'altronde in quel periodo (e fino al 2008) era assolutamente normale avere barre lisce nel c.a. e la presenza di un piatto d'acciaio inferiore, al posto di barre tonde lisce, e ciò non sollevava nessuna eccezione di omogeneità di categoria strutturale nel "sentire tecnico" comune.

>> 1967

L'Ingegnere Salvatore Leone brevetta la prima Trave tralicciata con piatto di acciaio inferiore (figura 2) che commercializza col marchio SEP, dal nome dell'azienda produttrice.



2. Trave tralicciata mista con piatto d'acciaio, brevettata dall'Ing. Salvatore Leone nel 1967.

Il sistema è stato successivamente esteso nel 1972 alle travi fuori spessore (figura 3) col nuovo marchio REP.



3. Trave fuori spessore, col marchio REP, brevettata nel 1972.

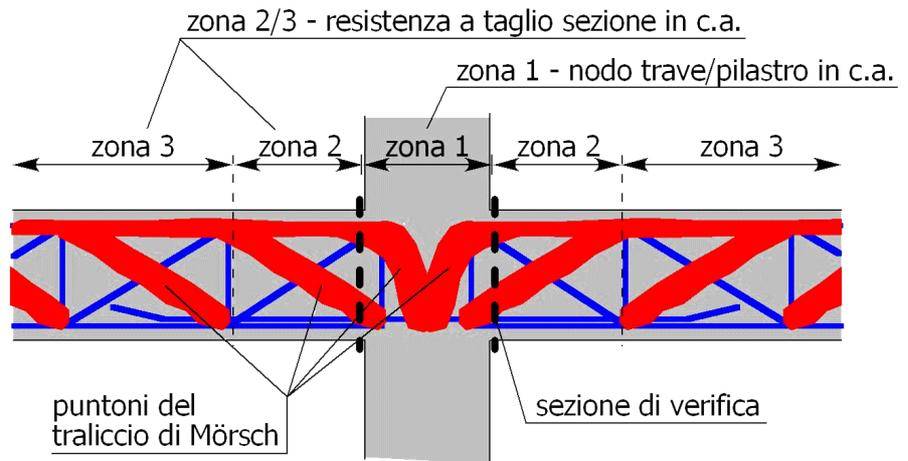
La proposta sul mercato enfatizza la sua natura di struttura mista, rispettata nella verifica a flessione, mentre la verifica al taglio era effettuata con un approccio da c.a., alle tensioni ammissibili, ipotizzando che la forza di scorrimento venisse assorbita dal calcestruzzo (come sforzo tangenziale) e dalle anime d'acciaio, viste come connettori a taglio. Tale schematizzazione era figlia da una parte di una assenza di norme specifiche al riguardo e dall'altra di un Parere del CSLPP che riteneva congrue, per tali travi, le norme sulle strutture in acciaio e, "per quanto applicabili, le norme sul cemento armato". In pratica veniva rimessa totalmente al Progettista la responsabilità della schematizzazione e degli algoritmi usati per la verifica a taglio.

>> 1978

L'Ingegnere Livio Izzo inventa sia la trave con fondello in calcestruzzo (figura 4), oggi più diffusa di quella con fondello in acciaio, sia la più efficiente anima a puntoni verticali (figura 5). Quest'ultima nasce con l'obiettivo di avvicinare il funzionamento a taglio delle travi tralicciate a quello delle travi in c.a. Infatti l'elemento verticale si concretizza, in seconda fase, in una staffa da c.a. verticale e l'elemento obliquo in una staffa da c.a. inclinata mentre il calcestruzzo può essere schematizzato nelle bielle compresse realizzando, quindi, per intero, il traliccio di Mörsch (figura 6).



4. Trave tralicciata mista con fondello di calcestruzzo. 5. Trave tralicciata mista con anima a puntoni verticali.



6. Trave tralicciata mista con anima a puntoni verticali: in seconda fase rispecchia il traliccio di Mörsch.

Poiché l'acciaio liscio nel c.a. era normalmente adottato, la schematizzazione era del tutto conforme alla norma con l'unica differenza che l'ancoraggio delle staffe non avveniva per aderenza ma per saldatura al corrente superiore. Questo approccio era sempre figlio dello stesso quadro normativo e di una conoscenza tecnica generale più vasta.

Questa nuova morfologia venne assoggettata a prove sperimentali nell'ambito della ricerca effettuata negli anni ottanta dal Consorzio produttori Travi REP nel laboratorio ufficiale RDB di Pontenure (figure 7 e 8).

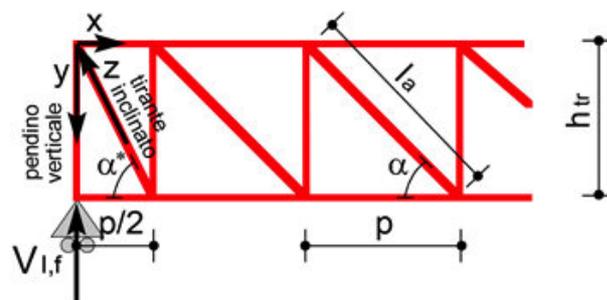


7. Trave tralicciata mista con anime a puntoni verticali collaudata in laboratorio.

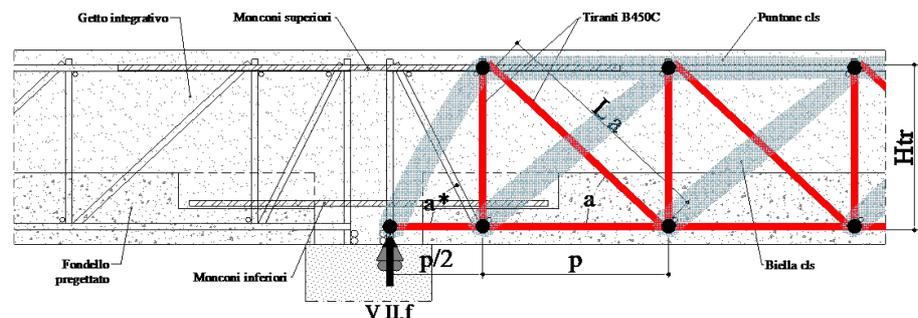
8. Trave tralicciata mista con anima a puntoni verticali: dopo la rottura della sezione mista, la trave metallica è ancora monolitica.

La nuova morfologia di anima a puntoni verticali comporta anche due vantaggi non indifferenti:

- 1) nella prima fase di autoportanza l'elemento compresso verticale è più corto di uno inclinato; pertanto, la sua lunghezza libera d'inflessione è sensibilmente minore. Inoltre, per le stesse ragioni di geometria, la forza di compressione cui è soggetto è minore per cui, nel complesso, il dimensionamento per la fase di autoportanza è sensibilmente meno penalizzante (figura 9).
- 2) Lo stesso elemento verticale, che in prima fase è compresso, nella fase di esercizio, quando si innesca il traliccio di Mörsch, risulta soggetto a trazione per cui è lecito scontare la precompressione ereditata dalla prima fase (figura 10). Tutto ciò va nel verso di una ottimizzazione dei materiali e di una loro specializzazione di funzioni, in linea con la filosofia del calcestruzzo armato.



9. Trave tralicciata mista con anima a puntoni verticali: puntone compresso in prima fase più corto e meno caricato.



10. Trave tralicciata mista con anima a puntoni verticali traliccio di Mörsch con una biella e due tiranti.

>> 1981

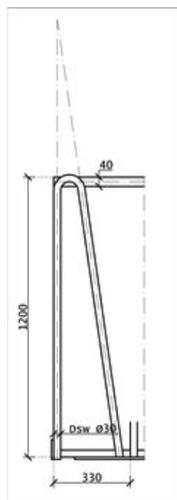
L'azienda S.D. inventa ed immette sul mercato le prime Travi Reticolari Miste realizzate con acciaio ad aderenza migliorata saldabile (figura 11). La motivazione è semplice: il migliore acciaio liscio ha una tensione caratteristica di snervamento pari a 360 N/mm² mentre per l'acciaio FeB44k (saldabile) lo stesso è pari a 440 N/mm² (per cui si poteva ottenere un risparmio netto sull'acciaio del 18%!) Inoltre, visto che queste travi si avvicinavano sempre di più alla filosofia del c.a., usare il "moderno" acciaio ad aderenza migliorata (saldabile) costituiva anche un miglioramento tecnologico.



11. Trave tralicciata mista con acciaio nervato da c.a.

All'introduzione di questa lungimirante intuizione, tuttavia, non tutte le tessere del mosaico si incastravano correttamente in quanto:

- 1) l'acciaio ad aderenza migliorata saldabile coesisteva sul mercato con quello non saldabile, quindi fragile e non immediatamente distinguibile da quello saldabile, risultando pertanto necessaria una più complessa gestione logistica.
- 2) L'acciaio da cemento armato è meno duttile di quello da carpenteria; pertanto la sagomatura dell'anima necessitava di pieghe con mandrini di diametro maggiore che, nella prima fase di autoportanza, comportavano maggiori eccentricità (figura 12) con conseguenti importanti momenti del secondo ordine ed aumento conseguente di diametro oppure limitazione della autoportanza.



12. Trave tralicciata mista con anima piegata con mandrino adeguato: grande eccentricità nel nodo.

>> Anni '90

Portando ad un livello molto alto la sinergia fra acciaio da cemento armato ed acciaio da carpenteria metallica veniva messa a punto una versione di travi tralicciate con correnti nervati ed anima liscia a puntoni verticali. L'anima liscia, infatti, poteva essere piegata con mandrini molto piccoli, data la duttilità del materiale, contenendo al massimo, quindi, le eccentricità in corrispondenza dei nodi saldati. La morfologia a puntoni verticali, inoltre, ottimizzava al massimo l'uso dell'acciaio per cui la differenza di resistenza fra l'acciaio liscio e quello nervato, su un'anima ridotta a diametri molto sottili, non comportava una percettibile differenza di peso mentre tutta la sezione dei correnti superiori ed inferiori, generalmente diritti, beneficiava appieno del famoso 18% di risparmio sui pesi.



13. Trave tralicciata mista con anima a puntoni verticali con anima liscia e correnti ad aderenza migliorata.

Questa morfologia, con una ottimale ripartizione dei compiti, è durata quasi 20 anni (fino alle NTC 2008, entrate in vigore come unica norma di riferimento nel luglio 2009) con una vastissima e felice applicazione sul campo: basta qui ricordare i 7 corpi "bassi" (dieci piani) di Palazzo Lombardia, tutti realizzati con questo sistema (figure 13 e 14).



14. Trave tralicciata mista con anima a puntoni verticali con anima liscia e correnti ad aderenza migliorata.

>> Tra il 2006 e il 2009

In questi anni si svolge la Ricerca Nazionale Assoprem-CIS-E, ripartita fra nove centri di ricerca universitari ed uno privato, con l'obiettivo di verificare il buon funzionamento di tali strutture e di evidenziarne ulteriori risorse da cogliere con algoritmi più specifici.

Il 26 Settembre 2009 il Gruppo di Lavoro Nazionale Assoprem-CIS-E pubblica le "Raccomandazioni per la progettazione e l'esecuzione di travi prefabbricate reticolari miste" frutto di un lavoro di molti anni di ricerca e sperimentazione e sintesi delle esperienze fatte nell'ambito del Gruppo di Ricerca coordinato dal Prof. Giovanni Plizzari.

>> 2011

Il CSLLPP pubblica sul proprio sito le "Linee guida per l'utilizzo di travi tralicciate in acciaio conglobate nel getto di calcestruzzo collaborante e procedure per il rilascio dell'autorizzazione all'impiego" in applicazione del Par. 4.6 delle NTC che annoverano tali travi fra i "materiali non tradizionali o non trattati dalle presenti norme".

Tali LG "individuano tre categorie entro le quali inquadrare ciascuna tipologia strutturale:

- a) strutture composte acciaio-calcestruzzo (con tutte e sole regole da strutture miste);
- b) strutture in calcestruzzo armato normale o precompresso (con tutte e sole regole da c.a.);
- c) strutture non riconducibili ai principi, alle definizioni, ai modelli di calcoli e ai materiali delle due categorie sopra elencate".

Di fatto, nessuna delle tipologie di Travi PREM in quel momento sul mercato si inquadrava nelle categorie a) o b) infatti:

- *) la sinergia dei due acciai da carpenteria e da c.a., nella stessa trave, erano escluse;
- *) la morfologia delle anime lisce a puntoni verticali non poteva più essere inquadrata nel traliccio di Mörsch;
- *) La verifica al taglio non poteva tener conto della collaborazione del calcestruzzo per cui la verifica a scorrimento era da escludere a priori.

LA SITUAZIONE DOPO LA PUBBLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA

Come probabilmente previsto dal normatore, quindi, tutte le travi PREM avrebbero dovuto confluire nella categoria c). Tuttavia le LG, per questa categoria e solo per questa, prevedevano un procedimento autorizzativo basato sui seguenti passi:

- I.** identificazione di precise tipologie per materiali, geometria, schema statico e modalità d'impiego;
- II.** esecuzione, per ogni tipologia, di adeguata sperimentazione su campioni e modelli, sia relativamente alla 1a fase sia relativamente alla 2a fase, in condizioni di esercizio ed ultime;... omissis...
- III.** definizione di modelli di calcolo attendibili e giustificati, anch'essi, dalla sperimentazione, eventualmente integrata da adeguate analisi numeriche.

Risultava pertanto comprensibile che l'ipotesi di rimanere in categoria c) avrebbe comportato un iter di anni che, unito ad una mancanza di regime transitorio, avrebbe avuto come conseguenza il fermo totale delle produzioni che non era compatibile con l'attività dell'azienda.

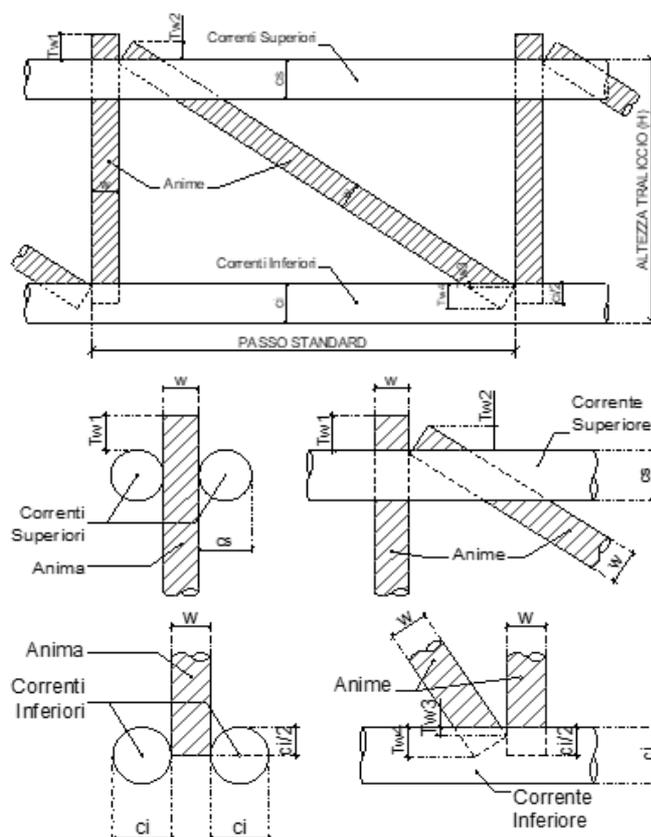
Quindi tutte le aziende produttrici di travi PREM, con l'eccezione di una sola, hanno optato per modificare la propria produzione per rientrare nelle Categorie a) o b).



15. Trave tralicciata mista di categoria a) sia con fondello in acciaio che con fondello in calcestruzzo.

Per le travi rientranti in Categoria a) (figura 15) è stato necessario rivedere quasi esclusivamente le verifiche a taglio che, senza la collaborazione del calcestruzzo, sono diventate molto più penalizzanti.

Per le travi rientranti in Categoria b), invece, le modifiche sono state soprattutto morfologiche e, quindi, di processo produttivo. Infatti, non potendo contare su anime in acciaio liscio piegato e saldato con mandrino stretto, né su anime in acciaio ad aderenza migliorata piegate su mandrino ampio (figura 12) si sono dovute adottare anime composte da elementi singoli, non sagomati (figure 16 e 17), tagliati, assemblati e saldati uno per uno, con conseguente notevole incremento di tempo di trasformazione e di controllo.



16. Trave PREM di categoria b) con elementi singoli non piegati.



17. Trave PREM di categoria b) con elementi singoli non piegati.

VERSO E DOPO LE NTC 2018

In quel contesto i produttori riuscirono a dare continuità alle proprie produzioni, rinunciando alla ottimizzazione di materiali e processi, con una conseguente minore produttività e maggiori costi. Questo comportò ulteriori difficoltà in un mercato già in forte crisi, con il conseguente taglio sui costi disponibili per la ricerca, interrompendo così un processo virtuoso di sviluppo, di processo e di prodotto, seguito fino a quel momento.

L'auspicio è stato, durante il lungo tunnel della parte più profonda della crisi, quello di poter riprendere la ricerca per riportare al più presto, nella disponibilità del mercato e quindi dell'economia, quelle soluzioni così performanti ed intelligenti supportate, questa volta, non solo dalle intuizioni e dalla competenza di pochi esperti ma anche dalla ripetibile esperienza della ricerca sperimentale.

In questo equilibrio, consolidato ancorché provvisorio, a gennaio 2018 sono state pubblicate le nuove NTC che hanno cambiato, formalmente ma non sostanzialmente, il Par. 4.6. A gennaio 2019 l'inquadramento è stato ulteriormente chiarito dalla Circ. MIT 21.01.2019 n. 7 C.S.LL.PP. che così recita: "Le NTC chiariscono che si intendono per 'Sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche' quelli per cui le regole di progettazione ed esecuzione non siano previste nelle NTC stesse o nei documenti di comprovata validità di cui al cap. 12....". Poiché del Cap. 12 fanno parte le "Linee Guida del STC del CSLP" fra cui quelle sulle Travi Tralicciate, le Travi PREM rimangono governate dallo stesso riferimento normativo pubblicato nel 2011, almeno fino a quando il Gruppo di Lavoro, istituito ad hoc in data 7/8/2018 dal Presidente del CSLP, non ne abbia steso la revisione.

CONCLUSIONI

Le Travi PREM costituiscono l'esempio classico della genialità dell'ingegneria italiana, con menti che hanno proposto un sistema molto efficiente e unico al mondo, la cui efficacia è testimoniata dalle tante importanti costruzioni realizzate con questa tecnologia.

Tale sistema diventa ancora più importante in un contesto economico già difficile ed ulteriormente aggravato dalla recente emergenza sanitaria, nel quale la ripartenza dovrà consentire l'ottimizzazione di tutte le risorse a disposizione per fare rinascere l'Italia, in analogia a quanto si è verificato dopo le grandi crisi (guerre comprese).

Purtroppo le vicende di questo sistema produttivo sono la palese dimostrazione delle fatiche che incontrano, nel nostro Paese, le innovazioni tecnologiche.

Gli Autori (e probabilmente non solo loro) rimangono però fiduciosi nella potenza dell'innovazione che, quando è valida, riuscirà a superare anche le difficoltà della nostra burocrazia.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

- Assoprem "Progettare con le travi Prefabbricate Reticolari Miste PREM", Tecniche Nuove, 2010.
D.M. 14 Gennaio 2008, "Norme tecniche per le costruzioni".
Izzo, L., Minelli, F., Plizzari, G., "Linee Guida per le travi reticolari miste PREM", Atti del 17° Congresso CTE, Parma, 2008, pp. 781-790.
SERVIZIO TECNICO CENTRALE DEL C.S.LL.PP., "Procedure per il rilascio dell'autorizzazione all'impiego di travi tralicciate in acciaio conglobate nel getto di calcestruzzo collaborante".
UNI EN 1994-1-1 "Eurocodice 4: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici", 2005.
UNI EN 1990 "Criteri generali di progettazione strutturale", 2006.
D.M. 17 Gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".
ANALISI TERMICA DI UNA TRAVE TRALICCIATA PREM - Confronto tra modello 3D e 2D di Vito Lavermicocca, Livio Izzo Structural 219 | Settembre - Ottobre 2018-10.12917/Stru219.25 <https://doi.org/10.12917/STRU219.25>.
MIT, Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.