

TeknoeBook

GLI EBOOK DI TEKNORING

IL NETWORK DEI PROFESSIONISTI TECNICI DI WOLTERS KLUWER ITALIA

ingegneri.info architetto.info geometra.info edilone.it mixdesign.it
periti.info tecnici.it chimici.info geologi.info agrinews.info

Storie di ingegneria

Eugène Freyssinet oltre i limiti del cemento armato

a cura di
Fausto Giovannardi

con la collaborazione di
Studio Giovannardi e Rontini



Wolters Kluwer
Italia

"Je suis né constructeur".

Con questa frase Eugène Freyssinet ha sinteticamente espresso il senso principale ... della sua esistenza, appassionatamente dedicata allo svolgimento dell'attività di ingegnere.

Andrea Chiarugi
Gloria Terenzi

La mente è come un paracadute, non funziona se non si apre.
Frank Zappa

La vita (1879-1962)

Gli anni della formazione.

Marie Eugène Leon Freyssinet¹ nasce il 13 luglio 1879 a Objat in Corrèze (Fr), nella casa confinante con il mulino dei nonni materni. Suo padre era allora insegnante. Quando EF ha sei anni, la famiglia si trasferisce a Parigi, dove il padre ha intanto aperto un'agenzia immobiliare.

A Parigi Eugène frequenta una scuola dove un piccolo gruppo di compagni ride del suo accento "contadino". Un'ambiente in cui si è costretti a lottare per essere lasciati tranquilli, ed in cui si vive permanentemente isolati. Eugène è spesso malato, ed i suoi lo mandano dai parenti ad Objat dove trascorre anche le vacanze.

L'isolamento di questa regione vi ha imposto un'autonomia di vita, che ha favorito la presenza di molti artigiani, che il giovane Eugène osserva attentamente e dai quali apprende che gli oggetti si costruiscono e che la loro qualità dipende anche dai materiali, dagli strumenti e metodi di lavoro².

I suoi genitori lo iscrivono al liceo statale Chaptal dove l'atmosfera della borghesia parigina, sebbene più piacevole, continua ad isolare i "provinciali". EF si consola frequentando intensamente il Conservatorio di arti e mestieri. Nel 1898 termina brillantemente gli studi liceali e decide d'iscriversi all'Ecole Polytechnique ma non riesce a superare l'ammissione e deve aspettare un anno per farcela. Nel 1899 entra al Polytechnique, dove finalmente trova giovani provenienti da tutta la Francia e quindi un ambiente che gli consente di integrarsi meglio. Si iscrive all'Ecole des Ponts et Chaussées come scuola di specializzazione, dove studia con Jean Résal (1854-1919), Paul Séjourné (1851-1939) e Charles Rabut (1852-1925), quest'ultimo uno dei pionieri del calcestruzzo armato.

¹ Per tutti solo Eugène e per noi EF nel seguito

² « Io sono nato costruttore. Imporre alla materia delle forme nate dalla mia immaginazione è per me, sia una necessità imperativa, che una fonte inesauribile di gioia. » "Io sono un intuitivo, molto meno soggetto alla ragione che all'impulso del subconscio, ..., un superstite d'una razza di artigiani con l'istinto costruttivo formato da millenni d'isolamento in condizioni di vita particolarmente difficili »

Durante il servizio militare³ fatto poco prima di terminare la Scuola des Ponts et Chaussées, la sua capacità di inventore comincia a manifestarsi: realizza infatti un sistema per l'attraversamento dei fiumi con il semplice uso delle barche, che gli vale le congratulazioni ufficiali. Questo sistema viene ufficialmente adottato dall'esercito Francese pochi anni più tardi e porta ancora il suo nome nei manuali del Génie.

Termina l'università nel 1905 con il titolo d'ingegnere de Ponts et et Chaussées e manterrà per tutta la vita, grande rispetto per gli insegnanti che vi ha conosciuto.



Nel mezzo della prima barca EF dirige la costruzione di un ponte di barche

Nell'estate del 1905 inizia la sua carriera nell'Amministrazione Pubblica, nella città di Moulins con il titolo di "ingegnere ordinario", responsabile delle costruzioni di tutta la prefettura di Allier. Il suo ufficio era situata al n. 47 di Boulevard Ledru Rollin, in un piccolo edificio posto nel cortile. L'edificio principale, una bella struttura borghese, era occupato dal suo capo, l'ingegnere Charles Wender.

In molte zone della giurisdizione, i fiumi erano ancora attraversati nei guadi e la necessità di tanti piccoli ponti era grande. Provenendo da una regione analoga EF comprende bene la natura delle esigenze locali e quindi l'assillo con cui deve rispondere alle numerose e pressanti richieste, spesso con pochi fondi a disposizione.

Sposa Jeanne Martin, che gli sarà sempre vicina e di stimolo per tutta la vita.

"Ma in tutto questo, lei mi dirà che posto ho lasciato per gli affetti umani e le gioie di casa? Vi si può rinunciare? Non ho avuto figli e credo che questo sia stato un bene per il mio lavoro... Ma ho incontrato una compagna, ..., che ha fatto della mia passione la sua passione, delle mie gioie le sue gioie, che ha conosciuto il comfort e anche il lusso e che non ha perso il sorriso neanche nei

³ Sarà arruolato come ufficiale ingegnere del genio nell'esercito Francese dal 1904 al 1907 e nuovamente dal 1914 al 1918 per la prima guerra Mondiale.

periodi più brutti, quando tutto sembrava perduto, mai una parola di critica. Il cui coraggio mi ha confortato nelle ore per me più buie e che è stata attenta a discostare da me tutto ciò che poteva diminuire l'efficacia del mio impegno e distruggere la mia volontà di servire un ideale che aveva fatto suo."

Le prime opere in cemento armato (1906-1908).

Nel 1906 Eugène Freyssinet costruisce il ponte ferroviario sul Sichon con un 'arco di 40 M di luce . Un altro ponte in cemento armato è costruito a Cusset sulolan per far passare la linea ferroviaria che porta a Malavaux. Nel 1907 costruisce un ponte stradale, di fronte al Castello di Prairéal sul Besbre (Allier). Trattasi di un ponte, ancora esistente, ad arco a tre cerniere, di 32 mt di luce, con sovrastruttura reticolare in cemento armato e cerniere metalliche. E' il primo ponte al mondo in cui sia stata applicata la decentinatura per spinta diretta in chiave, ottenuta con un martinetto.



Questo focoso ingegnere, così abile nell'uso del calcestruzzo armato, viene preso di mira dal Consiglio Generale degli ingegneri di Ponts e Chaussées, dove non vede di buon occhio, che uno di loro trasgredisca le vecchie abitudini nella costruzione di opere d'arte.

Dall'alto viene decisa una ispezione sui suoi cantieri.

L'ispettore generale vuole fare un sopralluogo con la moto e chiede a Freyssinet, di individuare un percorso di un giorno per ispezionare i ponti ... *"che avrebbero dovuto essere sostanzialmente alla medesima altitudine."*

Freyssinet organizza la visita di tre ponti sulla montagna Bourbonnaise, avendo cura di sceglierli in tre valli differenti.

L'ispettore, sfiancato dall'estenuante viaggio in moto, fu portato a dormire a La Prugne ed il mattino seguente partecipò, ancora mezzo addormentato, alla cerimonia in suo onore che ebbe luogo presso la sub-Prefettura di Vichy. L'ispezione, si concluse quindi con esito positivo per il lavoro di Freyssinet, che fu approvato dal Consiglio di amministrazione generale dei ponti.

Tre ponti sul fiume Allier.

L'incontro con François Mercier.

François Mercier (1858-1920) era un impresario edile originario della zona, dove aveva costruito molto, per poi associarsi con Claude Limousin (1880-1953) e costituire la società Mercier-Limousin.

Freyssinet conosce François Mercier nel 1907, quando questi ha appena vinto la gara per la costruzione di tre ponti in muratura "tradizionale"

sull'Allier affluente della Loira, a Veudre, Boutiron e a Châtel de Neuvre , per 630 000 Fr.

"Ero responsabile del controllo dei lavori che F. Mercier doveva costruire su contratto a forfait", scriverà qualche anno dopo EF," sarà l'inizio di una collaborazione sempre più amichevole, e dell'opportunità di poter compiere prove e verificarne subito i risultati. Mercier arrivò a considerarmi come un figlio... solo una volta in nove anni, è venuto a trovarmi al mio ufficio. Quel giorno, il mio progetto per Boutiron era attaccato al muro. Quel progetto non aveva alcuna possibilità di essere realizzato, sia per la mancanza di soldi che, a causa delle difficoltà d'approvazione per la sua originalità che poneva qualche dubbio... Egli riflettè un poco e poi mi disse: "Questo progetto mi piace e desidero che voi lo eseguite in piena libertà e sotto la sola vostra responsabilità di progetto ed esecuzione. Per ogni ponte, chiedo un terzo della somma prevista per il ponte di Veudre (.....) pagabile dopo la prova soddisfacente. In caso di fallimento, mi impegno a ricostruire ogni ponte inadeguato in muratura." Non posso testimoniare mai abbastanza la mia riconoscenza all'uomo che ha avuto tanta fiducia in me, da farsi carico di tutte le responsabilità di una serie di lavori difficili, considerando che non avevo ancora ventotto anni. Egli prima di procedere all'esecuzione dei lavori, mi ha detto di non aspettarmi da lui ordini o consigli, mi ha promesso solo di farsi carico di tutte le spese ... "

Anche se il sostegno di F. Mercier fu decisivo, il giovane ingegnere non è uno scriteriato senza dubbi:

"Ho necessità di fare dei test ad un arco importante. Il nostro progetto pone diversi problemi che richiedono un controllo sperimentale (.....) come si comporteranno al disarmo quegli archi molto ribassati, poco armati, la cui resistenza al taglio è praticamente pari a zero prima della presa. Posso controllare il movimento rispetto all'appoggio? (.....) come realizzare la perfetta applicazione simultanea delle spinte permanenti di diverse volte sulle pile senza resistenza prima di caricarle e troppo rigide per deformarsi senza rompersi?"

Dopo aver compilato pagine e pagine di calcoli, E.Freyssinet passa alla realizzazione di un arco di prova di 50 metri di luce, in un campo vicino a Moulins.

Costruito durante l'estate 1908, l'arco di Moulins è l'antenato di tutti i successivi lavori in cemento armato precompresso: *"Ho deciso di fare un arco di prova di 50m di luce, 2m freccia, con 156 m di raggio, 1,50 m di larghezza in chiave, e 2,50 m in corrispondenza degli appoggi "*, nota Eugène Freyssinet, prima di aggiungere che il terreno di fondazione non valeva niente. Per la prima volta

al mondo, viene sperimentata l'idea della precompressione, egli infatti collega le due basi dell'arco con un tirante composto da centinaia di fili di acciaio, ad un alto limite elastico, ed una sezione di cemento armato di 1,50mq., con una forza di 2.500 tonnellate.

Dovette anche risolvere il problema della fabbricazione del calcestruzzo. Solo dopo molte prove ottenne il calcestruzzo ideale, manleabile, senza eccesso d'acqua e con una resistenza che regolarmente raggiungeva i 400 kg/cmq a novanta giorni e sufficientemente duttile prima di rompersi.

Non è nota la "ricetta" esatta utilizzata da Eugène Freyssinet, anche se ci ha lasciato alcune precisazioni:

"Con sabbia silicea a grossi grani e della ghiaia mista silicea e feldspatica, e anche con dosaggio elevato di cemento (da 450 a 500 Kg/mc), ottengo calcestruzzo notevolmente manleabile. Esso è stato posto in opera vibrando le casseforme con martelli a mano."

Dopo che l'arco di prova ha dimostrato la sua affidabilità, si deve passare alla realizzazione dei ponti. Il primo è quello di Veudre che sarà completata nel 1911, a seguire nel 1912 il ponte di Boutiron e poi quello di Châtel de Neuvre iniziato nel 1914 e completato nel 1923. Questi tre ponti sono in calcestruzzo con struttura ad arco a tre cerniere. Il piano stradale è sostenuto dagli archi attraverso una schema reticolare con membrature in calcestruzzo.

Ogni Ponte è a tre arcate di 70 m ciascuna circa. Per ciascuno di questi tre ponti, Freyssinet svolge tutte le funzioni di progettista e costruttore.



Il ponte di Veudre (1911): la scoperta del fluage.

Poco dopo la sua costruzione, il ponte manifesta un evidente abbassamento in prossimità della chiave. Inizialmente EF pensa a problemi fondali, ma dopo sondaggi, misure e controlli, accerta che la causa del calo non proveniva dagli appoggi. Occorreva prendere rapidamente una decisione per far cessare l'abbassamento della chiave, altrimenti, Freyssinet ne è certo, ben presto il ponte sarebbe crollato, e con questo la sua carriera.

Si sveglia nella notte, agitato, prende la bicicletta e da Moulins va in cantiere (a 30 km) e pensa a come fare..

Finalmente trova la soluzione: inserisce dei martinetti in corrispondenza delle articolazioni della chiave, e li "apre" per riportare in assetto le arcate ed indurre uno stato di coazione, ottenendo quindi come effetto un rialzamento degli archi, ben sopportato dalle solide fondamenta.

Freyssinet volle che questo intervento fosse eseguito nel modo più discreto possibile per non allarmare il Consiglio di Amministrazione de Ponts e Chaussées. Ma la discrezione fu del tutto relativa, perché l'intervento fu fatto nel giorno del mercato a Veudre.

Questo ponte è stato fatto esplodere il 7 settembre 1944 durante la Seconda Guerra Mondiale.

Il testo che segue⁴ narrato dallo stesso Freyssinet, contiene alcune osservazioni sulla costruzione di questo ponte. Freyssinet scopre che la conoscenza del cemento armato secondo le norme del suo tempo non è conforme alla realtà. In particolare scopre che il modulo di deformazione del calcestruzzo non è costante e che le azioni di carico per lunghi periodi di tempo penalizzano in grande misura il suo valore.

"Fino alla prova del ponte, tutto bene. Le alluvioni piuttosto forti dell'autunno e inverno 1909-1910 non hanno mai messo in pericolo la centina. Le prove sono state un trionfo. Il margine destro, una collina che domina il ponte, era occupata da diverse migliaia di spettatori, installati dall'alba per assistere al crollo del lavoro, annunciato con grandi fanfare da un quotidiano di Nevers agli ordini di un imprudente imprenditore escluso dalla gara. Le loro speranze sono state infrante e passammo da una all'altra prova spostando pesanti rulli a vapore senza osservare nulla che non rispettasse i valori previsti delle frecce elastiche. Alla felicità nel vedere il successo della costruzione, si sostituì ben presto una sorda preoccupazione. Mi sembrava che le ringhiere, perfettamente diritte durante la prova, a poco a poco, lentamente, prendessero una convessità verso il cielo. Le articolazioni in chiave si abbassavano in analogia.

Come si fu entrati nell'inverno, pensai ad una cattiva combinazione della dilatazione e del ritiro alternati; ma quando, al ritorno della buona stagione, constatai che i movimenti si amplificavano, e sempre più in fretta, la mia inquietudine si trasformò in una angoscia atroce. Mi venne ben presto la certezza che il mio arco, troppo ben articolato e troppo deformabile, si instabilizzasse in senso verticale.

⁴ José Antonio Fernández Ordóñez. <<Eugene Freyssinet>>.1978

Alla fine della primavera del 1911, il livello delle chiavi era calato di 13 cm. e, per contro, le reni stavano notevolmente elevate. Il ponte era ben lungi dal poter resistere alle prove per sovraccarichi, e le deformazioni aumentavano molto rapidamente. Questo presupponeva esservi stato un enorme calo del modulo elastico del calcestruzzo armato.

Prove su cubetti tuttavia dimostravano che, al contrario, la resistenza ed il modulo con il tempo aumentavano regolarmente superando ogni aspettativa. In quanto al calcestruzzo "in situ" sembrava aver acquisito la durezza del granito.

Era necessario ammettere, che le deformazioni potevano variare in enormi proporzioni con le tensioni e, soprattutto con la sua legge d'applicazione. Questa ipotesi, dall'altro canto, sembrava convenire piuttosto bene con le deformazioni osservate durante la prova e fino ad allora inspiegabili.

Ma se ciò era vero, l'asserzione che il modulo elastico del calcestruzzo armato è, come per l'acciaio, praticamente costante, erano false, totalmente false. Non meno falsa la circolare francese del 1906 fondata su questo dogma della costanza del modulo per un calcestruzzo dato, e tutte le circolari del mondo, riprese da questa.

Credo che la prima enunciazione in pubblico dell'esistenza di una notevole variazione del modulo di deformazione in funzione alla durata del carico, si avrà oltre sedici anni più tardi; e si scontrò con una incredulità ostinata.

Nel Congresso di Vienna di Ponti e Strutture, la mia comunicazione su questo argomento non ebbe niente di più che una cortese indifferenza; Faber a Londra nel 1927, fu oggetto di diffidenza fino che il suo lavoro di Glanville confermò le sue teorie. Solo i dibattiti del Congresso di Liegi, sopra il lavoro di Glanville e sui miei lavori, proseguito a Plougastel, dal 1925 al 1929, e confermata da una moltitudine di indagini in tutti i paesi, hanno potuto aprire una breccia in questa incredulità. Breccia ben modesta tuttavia, perché molti ingegneri credono ancora che la deformazione differita del calcestruzzo sia interesse solo dei teorici, che cercano il pelo nell'uovo, quando invece è di fondamentale importanza per tutti coloro che utilizzano il calcestruzzo armato.

Dibattuto tra la mia fede ancora intatta nella scienza ufficiale e nei regolamenti, e la terribile certezza che le mie volte si deformavano

progressivamente, il mio spirito aveva una preoccupazione terribile, che mi impediva qualsiasi possibilità di azione. Stavo annegando nell'assurdo e pensavo di diventare matto.

Ho avuto l'idea di svolgere un'indagine sulle condizioni in cui erano state effettuate le esperienze della Commissione sul cemento armato, parlando con il personale che aveva eseguito materialmente le prove. Mi si confessò che la paura di vedere distrutti gli elastometri quando si rompevano i blocchi di prove, cosa che era accaduta varie volte, li costringeva a smontare gli apparati molto prima della rottura del calcestruzzo. Si rimpiazzavano semplicemente le curve di deformazione, di cui non era stato registrato la parte interessante vicino alla rottura, per la sua tangente all'origine. Questa era l'origine della nozione di costanza del modulo, base obbligatoria del calcolo delle tensioni dovute alle deformazioni. Per quanto riguarda l'influenza sulle deformazioni dovute alla permanenza di carichi, non erano stati effettuati studi sistematici. Ma nei casi in cui la durata di alcune esperienze era stata prolungata per motivi accidentale, questa influenza aveva portato a impreviste deformazioni.

Invece di investigare la causa di queste variazioni costanti in specifiche circostanze dell'esperienza, come avrebbe dovuto farsi senza alcun dubbio, la Commissione considerò tutti questi dati anormali come frutto di errori e non ne tenne alcun conto.

Ho capito allora che, poiché prima dell'inizio delle prove, i teorici delle strutture che erano in maggioranza nella Commissione, erano convinti che il calcestruzzo non poteva avere altra legge di deformazione che quella attribuita all'acciaio, questo ha portato ad avere la scienza delle strutture come un semplice ramo della matematica. Chiusi in un mondo irreali, impenetrabile a tutta la realtà fisica questi matematici non avevano chiesto all'esperienza niente di più che una conferma delle loro idee aprioristiche, dando per validi i loro grossi simulacri, respingendo come macchiati da errori eventuali osservazioni che li avrebbero costretti a rinunciare alle loro equazioni complicate."

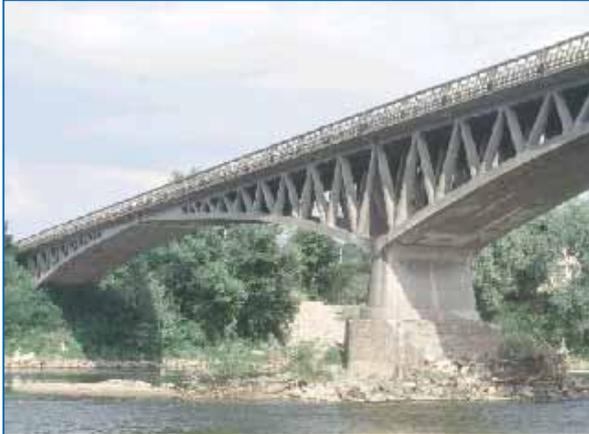
Il ponte di Boutiron (1912)

Una volta completato il ponte di Veudre, Freyssinet e F. Mercier costruiscono il ponte di Boutiron. Il principio di costruzione del ponte è



analogo a quello precedente anche se questo ha gli archi che presentano una freccia un po' più importante.

Al momento del getto del ponte, una piena distrugge una parte della centina. Freyssinet dirige i lavori di riparazione e procede con il getto lavorando costantemente per tre giorni e notti. Il ponte di Boutiron (3 km a nord di Vichy) è stato inaugurato nel 1912. Il ponte è ancora in attività.



Il ponte di Chatel de Neuvre (1914-1923) ed il disarmo "automatico"



Questo ponte, l'ultimo della serie, è stato progettato con gli stessi principi dei precedenti (3 archi a tre cerniere). Tuttavia le membrature sono state sostituite con pareti piene di calcestruzzo. Come per tutte le grandi opere d'arte il disarmo della centina è un vero e proprio problema perché il calcestruzzo aderisce in maniera abbastanza forte alle tavole e non è raro che queste siano irrecuperabili dopo il disarmo. Per disarmare il ponte, Freyssinet inventa un nuovo processo. Egli impiega la tecnica che aveva usato per fermare il rammollimento della chiave del ponte di Veurdre: dove ha infilato dentro la chiave di volta di ognuno dei tre archi, dei martinetti per ripristinare la posizione. Con questa azione gli archi del ponte di Châtel de Neuvre sono sollevati e poi automaticamente disarmati senza qualsiasi ulteriore azione.

Il ponte è stato distrutto nel corso della seconda guerra mondiale.

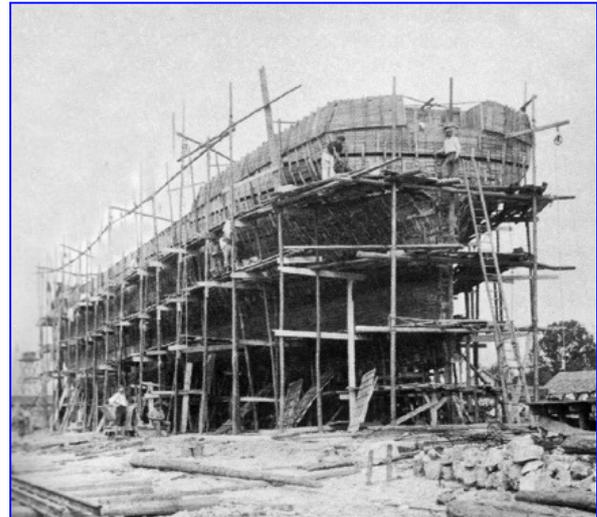
Costruttore, socio dell'Enterprises Limousin (1914)

La costruzione di questi ponti e la tecnica di disarmo con l'uso di martinetti per la quale ottiene il premio della Camera dell'Accademia delle Scienze, contribuiscono al diffondersi della fama di Freyssinet. Dopo queste prime esperienze

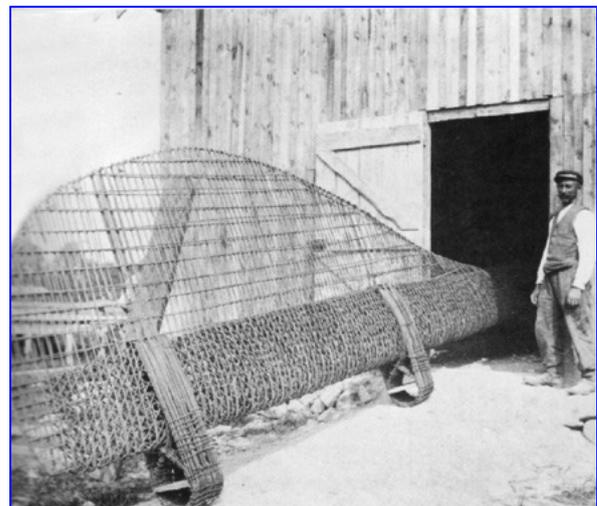
molto importanti per conoscere il cemento armato, Freyssinet lascia nel 1914, l'incarico nell'Amministrazione de Ponts e Chaussées ed entra nell'impresa di François Mercier e Claude Limousin, (dove rimarrà fino al 1928), per continuare la sua brillante carriera.

Diviene un costruttore affermato, socio della Enterprise Limousine e responsabile per la costruzione di grandi ponti in calcestruzzo armato e non solo di cemento armato, infatti nel 1915 costruisce il ponte di Villeneuve sur Lot, che con i suoi due archi di 100 m di luce, fu al suo tempo, record mondiale dei ponti di calcestruzzo non armato.

Le navi in calcestruzzo (1918-21)



La necessità di risparmiare acciaio portò lo stato Francese a promuovere la costruzione di natanti in calcestruzzo. Noto fu l'attività di costruzione concentrata soprattutto a Rouen e Bourdeaux. Freyssinet entrò nell'affare per conto della Enterprise Limousin e fu amministratore delegato della Società di Natanti in Calcestruzzo armato di Rouen, che nel 1921 ottenne l'appalto per la costruzione di 16 navi del tipo Lezard, di 55 m di lunghezza e 2.150 ton. Per il varo venne usato un metodo inventato da EF, attraverso il riempimento con acqua di sacchi di pelle, che costituivano una specie di martinetti flessibili.



Gli hangars di Orly (1921-23)

Negli anni Venti progetta e costruisce diversi ponti in calcestruzzo armato, numerosi edifici e la sua opera più conosciuta: i due hangar gemelli, per dirigibili dell' aeroporto di Orly, a sud di Parigi, distrutti nel 1944 da un bombardamento americano della seconda guerra mondiale.

Per introdurre i dirigibili, del diametro di 50 metri, necessitava un volume enorme (una lunghezza di 300 metri, 86 metri di larghezza e 60 di altezza). La gara per la loro realizzazione fu vinta da E. Freyssinet in ragione del basso costo dell'opera,



rispetto a quella degli altri concorrenti. La soluzione originale e geniale al contempo, EF la ottiene attraverso una serie di archi parabolici di sezione sottile (9 cm), che connessi tra loro creano una superficie ondulata, simile a quella di un cartone corrugato. La sezione grecata fornisce una grande resistenza alle azioni orizzontali del vento, la principale a cui era sollecitata la struttura, oltre al peso proprio, essendo il carico neve trascurabile. Lamine piegate il cui rapporto massa/luce era dieci volte inferiore a quello del guscio di un uovo (1/1000 contro 1/100).

Ogni singolo arco era di 7,5 metri di larghezza, mentre l'altezza della sezione variava da 5,4 mt alla base a 3,0 mt in chiave.

La struttura di questi hangar è un diagramma di forze alla scala 1:1, in essi la geometria, la fisica e l'architettura sono un tutt'uno.

Il calcestruzzo usato aveva caratteristiche impermeabili e per essere gettato dentro le casseforme di poco spessore doveva essere molto fluido ed a presa rapida. Era dosato a 350 kg di cemento per 1000 kg di sabbia e ghiaia. Il sistema delle fondazioni, una trave di cemento armato di un metro di spessore, era stato studiato da EF in modo da avere un carico perfettamente verticale sul terreno, anche in presenza dell'azione variabile del vento.

Il processo costruttivo di ogni arco, largo 7,5 mt, era realizzato in cinque fasi: fondazione ed imposte di 2 mt di altezza, due aggetti di 17 mt e la volta di 75 mt di luce e 144 mt di sviluppo.

L'enorme centina fatta di correnti e tavole inchiodate di legno d'abete, a formare una struttura reticolare, era montabile in tre pezzi, prima i due laterali tenuti in posizione da due



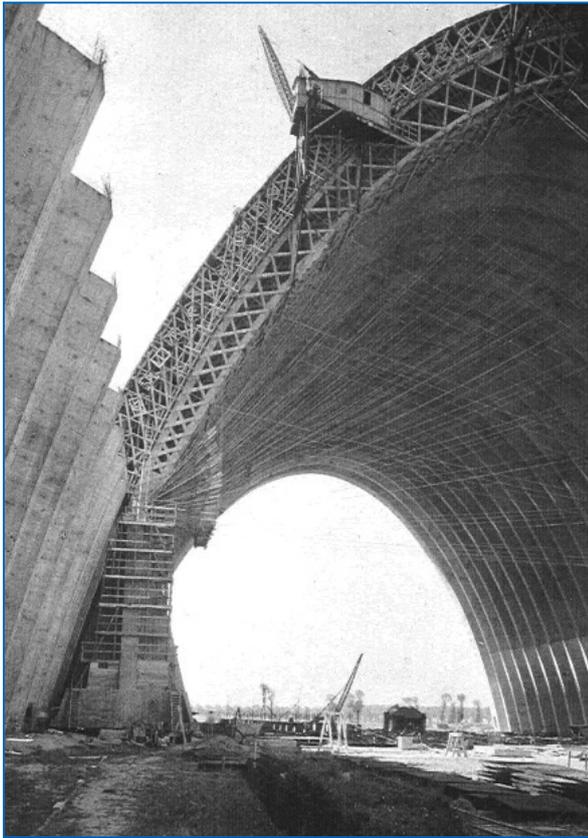
argani idraulici, che sollevavano poi il tratto centrale, e spostabile per formare gli archi successivi (40 archi). Un sistema di carrelli piani permetteva di spostare i due cassoni (interno ed esterno) di legno nelle successive posizioni del getto, consentendo la realizzazione del lavoro in poco tempo ed a basso costo.

Gli hangar gemelli di Orly rappresentano nel 1921 un salto di qualità per le coperture di edifici, non solo per le loro enormi dimensioni che sono un record indiscutibile, ma per il minimo impiego di metri cubi di calcestruzzo rispetto al volume utile della costruzione: nessuno ha superato Freyssinet



nel principio di "rendere più con meno".⁵

⁵ Fernández Ordóñez, José Antonio, "Eugène Freyssinet, 24 años después de su muerte".



quali di ben 188 metri di luce libera e 27,5 di freccia, stabilendo il record mondiale.

Per la costruzione del ponte EF fece uso di una enorme centina di legno spostabile su chiatte galleggianti, tirantata alla base: una volta gettato il primo arco, la centina fu spostata per essere posizionata sotto il secondo e poi al terzo arco. La costruzione avvenne per aggetti successivi, mentre una immensa teleferica di 800 mt di luce consentiva l'accesso ad ogni punto. In riferimento a quel ponte, Freyssinet scrisse che *"per sapere se si poteva indurre nel calcestruzzo precompressioni permanenti a dispetto delle sue deformazioni lente era necessario conoscere le leggi esatte di quest'ultime. Un'occasione di riprendere lo studio mi fu offerta dall'esecuzione del Plougastel"*.



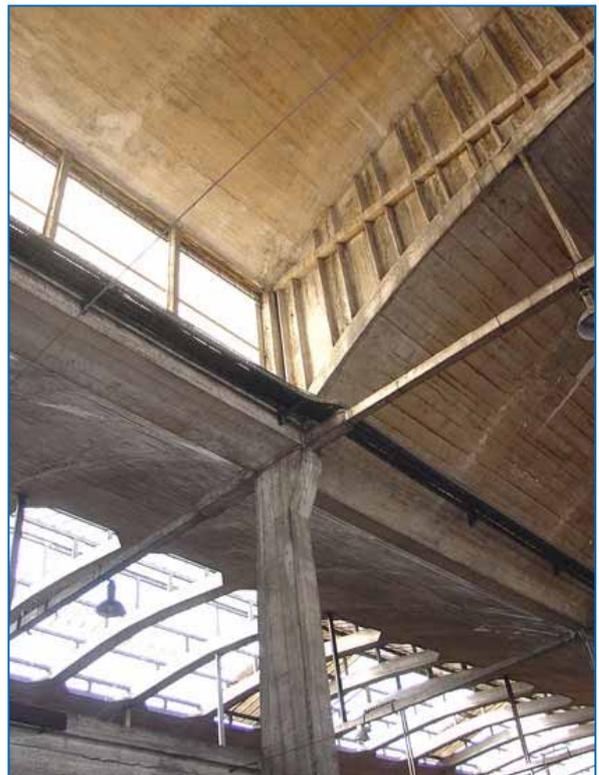
Il ponte di Plougastel⁶: la centina mobile (1924-30).

Nel 1922 Freyssinet completò il ponte sulla Senna a Saint Pierre du Vauvray, che raggiunse all'ora incredibile luce di 131 metri; era formato da una grande arcata doppia in calcestruzzo armato messa in forza dai martinetti. Nel 1930 fu completato il grande ponte di Plougastel, lungo 900 metri, sopra il fiume Elorn in Bretagna, con due carreggiate sovrapposte per il transito su ruote e su ferro. Freyssinet progettò tre campate in calcestruzzo armato ognuna delle



Le Halles Freyssinet : il trionfo del calcestruzzo armato

In occasione dell'esposizione sul Concorso internazionale di idee per il nuovo Palazzo di Giustizia di Parigi previsto sul sito della Halle Freyssinet, nel quartiere di Tolbiac, tanti hanno potuto prendere visione, invece che dei progetti,



⁶ Vedi Eugène Freyssinet di A. Chiarugi e Gloria Terenzi in *Costruire con il Cemento armato*, Cap.2, M. Mezzina. UTET 2001

di questo notevole esempio di architettura industriale in calcestruzzo, nonché di uno dei pochi esempi del lavoro di Eugène Freyssinet, rimasto a Parigi, e che si intende demolire.

Costruita tra il 1927 e 1929 per la Compagnie des Chemins de Fer dentro la stazione d'Austerlitz e l'attuale Biblioteca Nazionale di Francia, la Halle Freyssinet si distingue per le sue tre volte sottili in calcestruzzo.

Questo è probabilmente l'ultimo intervento architettonico in cemento armato interamente progettato e realizzato dal grande ingegnere ed è l'ultimo suo edificio importante rimasto in Parigi. Nonostante le dimensioni impressionanti (310 m di lunghezza), questo monumento dell'arte del costruire è rimasto relativamente sconosciuto a causa del suo impianto singolare che lo maschera quasi interamente.



Su una superficie di 41.000 mq, l'edificio è attualmente gestito da una ditta (Sernam), per la



cernita dei pacchetti postali.

Numerose sono le halles costruite da Freyssinet in questo periodo.

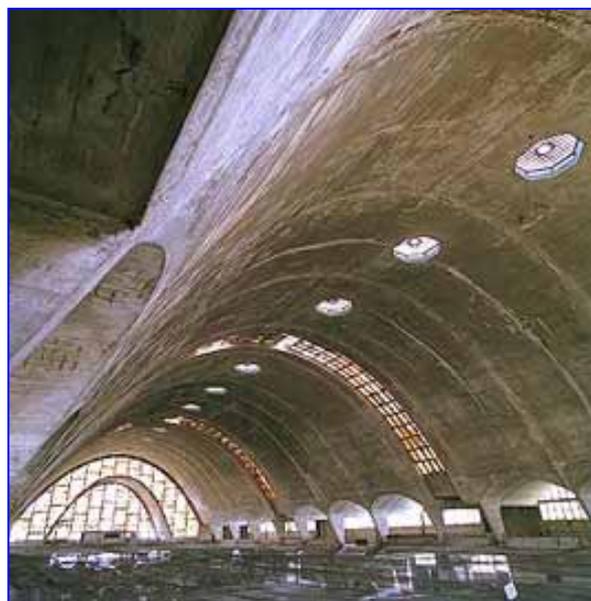
Si può vedere ancora ai nostri giorni, a **Reims**, la Halle, costruita da Eugène Freyssinet ed Émile Maigrot (architetto) nel 1927-1928, sullo stesso principio. Dopo la guerra del 1914-1918, la città di Reims inizia un periodo di ricostruzione. Nel 1922, un concorso è organizzato per ricostruire la **Halle Boulingrin**. Émile Maigrot lo vince nel 1923. Nel 1926, l'impresa Limousin ed il suo ingegnere Eugène Freyssinet si propongono come esecutori. Il lavoro ha inizio nel febbraio 1927. Il mercato apre alla fine di ottobre 1929. La Halle è costituita da una lunga navata coperta a volta sottile a profilo parabolico, con nervature poste

all'estradosso, in modo da consentire alla centina di muoversi agevolmente.

Le tecniche di costruzione sviluppate da EF, un processo rapido di esecuzione con casseri mobili, incide notevolmente sul progettazione del mercato, una grande navata unica a pianta rettangolare con volta paraboloidale in cemento armato di 7 cm di spessore, con una luce di 38,26 mt, per un'altezza di 19,45 mt.

La loro demolizione è stata fermata nel 1988, e poi definitivamente nel 1990 avendo il ministro della cultura J. Lang ottenutone la classificazione come monumento storico nazionale.

Al fine di ottenere tutte le informazioni che gli consentissero di sviluppare la precompressione, Eugène Freyssinet propose al partner Limousin, essendo morto F. Mercier, di svolgere delle attività di ricerca che gli permettessero di brevettare questa tecnica, ma Limousin non



credendo al futuro della precompressione si rifiuta, ritenendo con ciò di evitare la rovina di entrambi. E' l'inizio della fine del rapporto tra EF e l'Enterprises Limousin.

La fabbrica di pali e la grande crisi.

Eugène Freyssinet entra in contatto con la FORCLUM (Société Française de Poteux Electriques) e con essa condivide l'onere di tale ricerca, spendendo i suoi guadagni acquisiti fino ad allora.

Nel 1929 viene aperto un laboratorio ben attrezzato a Benzons, in una vecchia centrale elettrica dismessa.

Freyssinet sperimenta il c.a.p. non solo per risolvere i problemi di flessione. ma anche quelli legati alla fatica, come nei pali del telegrafo e dell'impermeabilizzazione nei canali per le condotte dei fluidi, ottenuta grazie all'elevato grado di compattazione dato da una armatura pretesa incorporata nel tubo.

Ad inizio degli anni Trenta EF con la FORCLUM aprì una fabbrica, a Montargis per la produzione di pali in calcestruzzo armato precompresso; la produzione inizia in un momento in cui la crisi del 1929 blocca il mercato e deve essere interrotta. L'operazione fu un fallimento e Freyssinet, oberato dai debiti, dovette chiudere lo stabilimento nel 1933 e cedere la licenza di costruire pali elettrici in c.a.p.



**La rinascita:
il consolidamento del porto di Le Havre
(1933-39).**

Nel 1933, con il coraggio, o la pazzia, derivante dalla disperazione, Freyssinet accetta l'incarico di salvare la gigantesca stazione marittima base del transatlantico Normandie, nel porto di Le Havre, che stava sprofondando senza rimedio.

L'enorme complesso di quasi 600 mt di lunghezza, e 45 di larghezza, progettato dall'architetto Urbain Cassan era in pericolo di crollare ancora prima di essere completato, perché non era stato considerato che c'era limo



sotto la ghiaia del piano fondale.

I principali elementi dell'intervento di Freyssinet furono tre grandi travi di cemento armato precompresso, che egli inserisce sotto la struttura, sostenute da pali di fondazione addizionali. Presumibilmente, queste travi costituiscono ancora il principale sostegno del carico portato dal nuovo terminal del 1954 che ha sostituito la

vecchia struttura dopo che fu distrutta dai bombardamenti alleati del 1944.

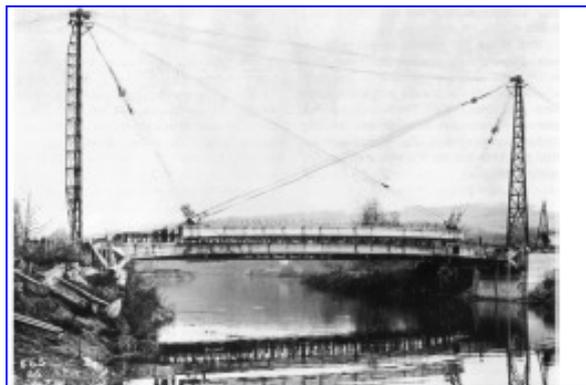
Gli interventi di risanamento svoltisi dal 1935 al 1939, con il calcestruzzo armato precompresso riescono pienamente e portano a Eugène Freyssinet una grande fama già a metà dell'intervento.



**Lo sviluppo della precompressione:
l'incontro con Edme Campenon**

Il successo della riabilitazione della banchina di Le Havre segna una svolta per la sua vita (EF ha 61 anni). Infatti è in occasione di una visita al sito che un grande costruttore, Edme Campenon, contitolare della Campenon Bernard, fa la conoscenza di Eugène Freyssinet e capisce l'importanza del precompresso ed il genio del suo inventore. Nel 1935 firmano un accordo di cooperazione, che durerà per tutta la vita.

Nel 1943 viene completato il ponte di Longroy sul fiume Bresle, primo esempio di applicazione di



cavi post-tesi; negli anni 1945-49 EF ne progetta cinque sulla Marna ed il primo ad essere costruito, **il Luzancy (1946)**, costituisce il primo vero esempio di precompressione.

"Nel 1946 con il completamento della costruzione del ponte di Luzancy si sono messi a punto tutti i mezzi ed i dettagli per l'esecuzione pratica del calcestruzzo precompresso, con la vittoria finale su tutti i fronti (tecnico, commerciale e sociale), creando un precedente ed il modelli per tutto l'ambito strutturale."

Si tratta di un ponte retto, di 55 mt. di luce costruito da travi prefabbricate e precomprese in situ, che ha definito lo standard a cui riferirsi fino ai nostri giorni, per tanti ponti di strade e ferrovie. La grandezza della crescita data alla tecnica costruttiva ottiene un enorme effetto; a partire da allora la scala delle opere di ingegneria di calcestruzzo cambia completamente. Freyssinet parlerà di:

*"Travi rette di 100 mt. di luce ad anima piena realizzabili a basso prezzo e senza difficoltà, notevolmente più leggere ed infinitamente meno costoso delle travi di metallo di pari luce."*⁷

Dall'anno successivo alla costruzione del ponte di Luzancy, EF costruì, cinque ponti uguali sulla Marna, di luce 74 metri.

A testimonianza delle eccezionali proprietà del c.a.p. è significativa la storia raccontata da Yves Guyon⁸ circa il ponte sul fiume Andelle, a Elbeuf sur Andelle, costruito con una struttura a soletta di quaranta metri di luce, minata dai nazisti nel loro ritiro dal territorio francese nel 1944:

"...L'esplosione fece alzare la lastra, ma essa ricadde, senza rottura, sugli appoggi. Nonostante questo scoppio notevole, che fece entrare in gioco tutta la massa del ponte, questo potè essere utilizzato dall'esercito americano, che lo attraversò con pesanti mezzi."

Per consentire ad altre imprese di utilizzare i brevetti della precompressione e tutte le attrezzature, che accompagnano la sua esecuzione, viene creata nel 1943 una società controllata, denominata STUP (Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte). In pochi anni la notorietà di Eugène Freyssinet cresce, e con questa la diffusione del c.a.p. a livello internazionale, dove le opere realizzate battono i record mondiali per costi, tempo d'esecuzione e dimensioni.

⁷ Fernández Ordóñez, José Antonio, "Eugène Freyssinet", p. 214

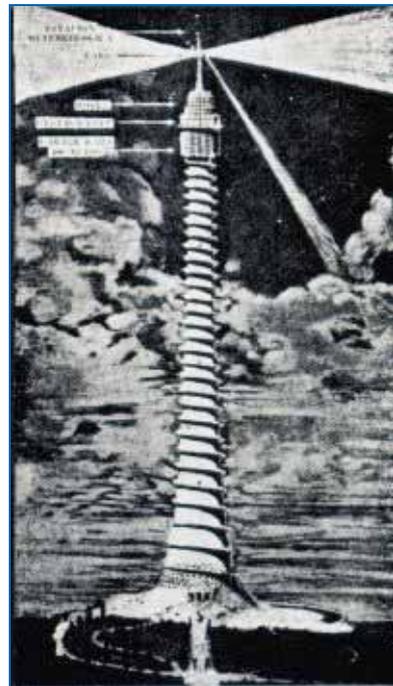
⁸ Guyon, Yves, "Calcestruzzo precompresso – Studio tecnico e sperimentale", p. 73.

Nel 1948 Freyssinet costruisce il primo ponte precompresso del Sud America, si tratta del ponte di Galeão. Un ponte di 15 campate di varie luci con travi su appoggi semplici, post tesi con cavi ad andamento parabolico. Poco dopo, nel 1952, il ponte di Juazeiro, con il record della sua trave continua di 561,45 m in tredici campate.

In realtà la introduzione del c.a.p. in Brasile sarà la prima di tutta l'America, perché il primo intervento in USA sembra sia stata una passerella con trave a doppio T, nel 1950, nel parco di Fairmont, ad opera di G. Manguel, anche se altri dicono, che sia stato costruito prima il ponte del Walnut Lane a Filadelfia, ad opera della Preload Company (NY), mediante procedimento Manguel. Nel 1956 EF ricevette l'incarico per il progetto della nuova basilica di San Pio X a Lourdes e l'accetta alla condizione di "essere io il solo responsabile delle forme e delle strutture."

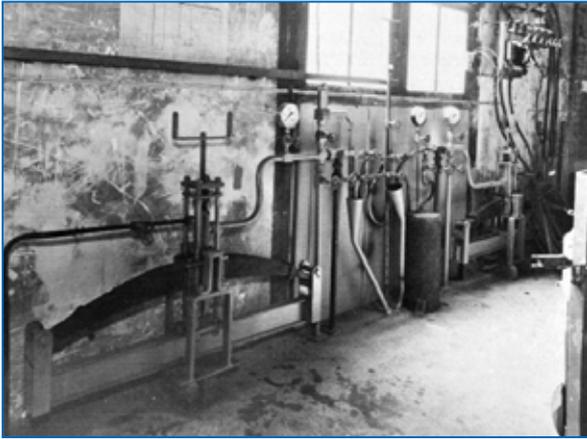
Nel 1958 realizza un ponte ad Orly e l'anno successivo la sua ultima opera, il ponte di saint Michel a Tolosa.

Anche da ottantenne EF è ancora in grado di seguire l'evoluzione di alcuni lavori, sebbene egli ora passi più tempo nella sua residenza di Saint Martin Vesubie nelle Alpes Maritimes, dove morirà improvvisamente venerdì 8 giugno 1962.

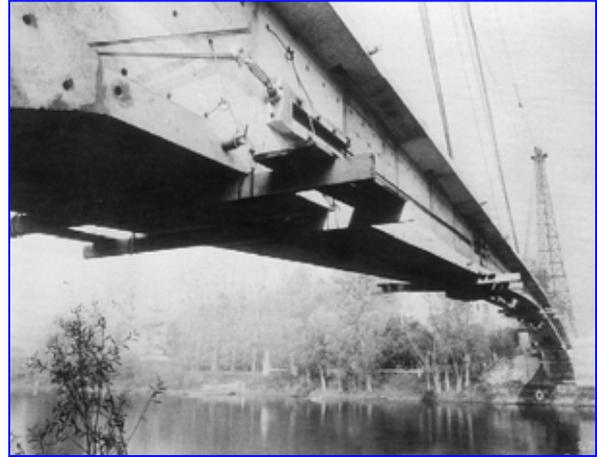


Cos'è mancato a Eugène Freyssinet per essere famoso come Gustave Eiffel? Forse il non aver realizzato questa torre di settecento metri di altezza che egli aveva proposto per l'Esposizione Universale del 1937?

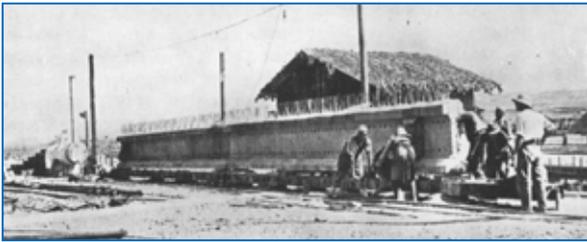
Il laboratorio di Freyssinet a Bezons.



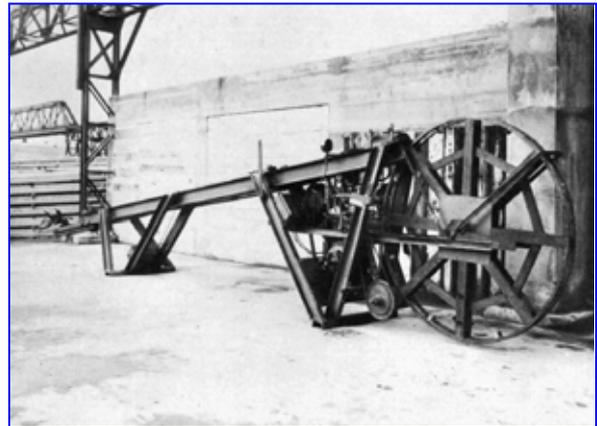
Ponte di Esbly. Il precompresso apre la strada a nuove forme, quasi temerarie



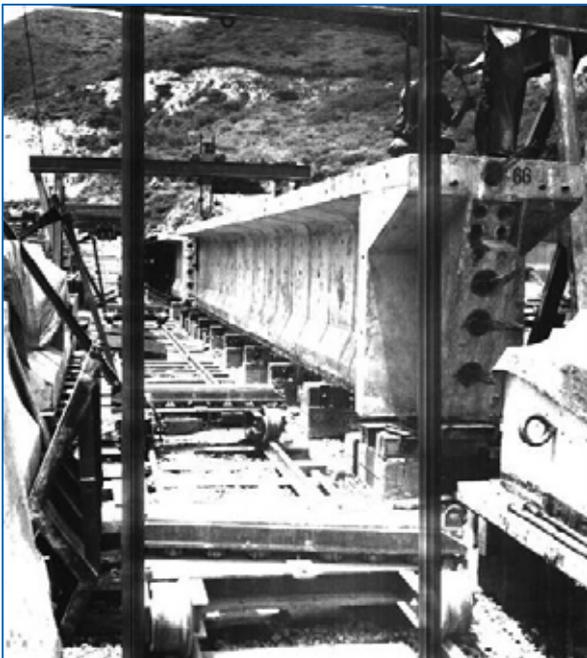
Trave del ponte di Argelia.
Prima trave retta precompressa della storia.



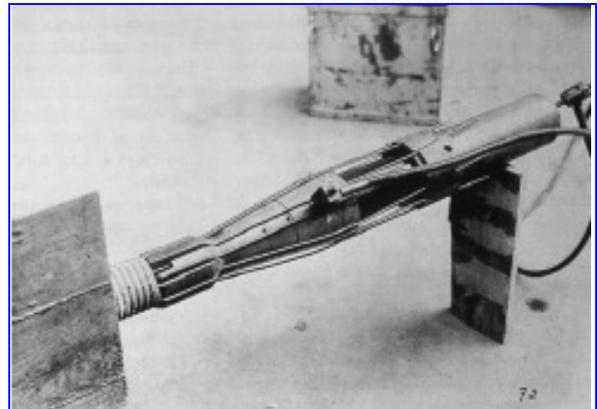
Macchina sviluppata da EF per elevare il limite elastico dell'acciaio.



Trave Postcompressa per un ponte in Venezuela

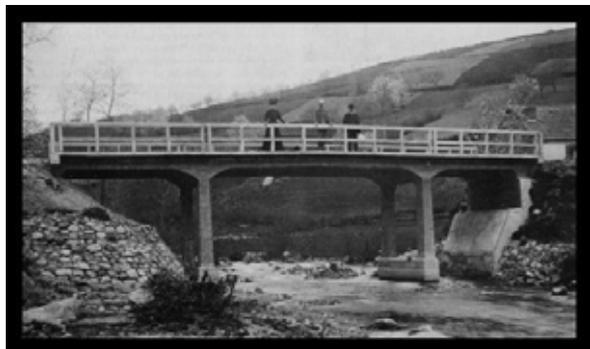


Martinetto Freyssinet



CRONOLOGIA LAVORI SIGNIFICATIVI

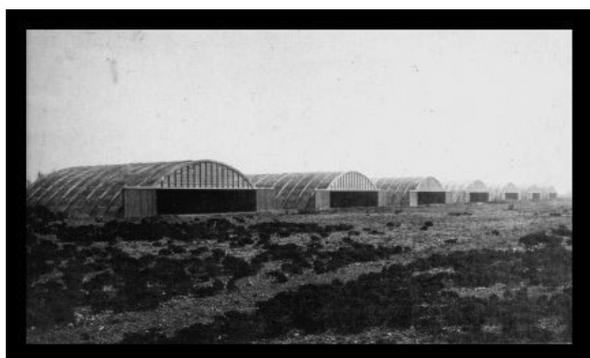
Periodo **Opera**
 1905 Ponte sullo Jolan
 Cusset Allier



1906 Ponte ferroviario (arco 40m)
 Ferrères sur Sichon Allier
 1907 Ponte sul Besbre (arco 26m)
 Prairéal Allier
 1911 Ponte sull'Allier (3 archi di 64 e 72m)
 (minato nel 1944) a Veudre Allier
 1912 Ponte sull'Allier (3 archi di 67 e 72m)
 Boutiron Allier
 1912 Ponte sull'Allier (distrutto)
 Chatel de Neuvre Allier
 1914-1918 Aciaierie a Caen Calvados
 1914-1919 **Ponte** (arco di 96m)
 Villeneuve sur Lot in Garonne



1916 Hangars (46x60m) a Avord Cher
 1917 Hangars a Istres Bouches du Rhône



1918 15 Navi in cemento armato (55m)
Luogo Rouen Seine-Maritime



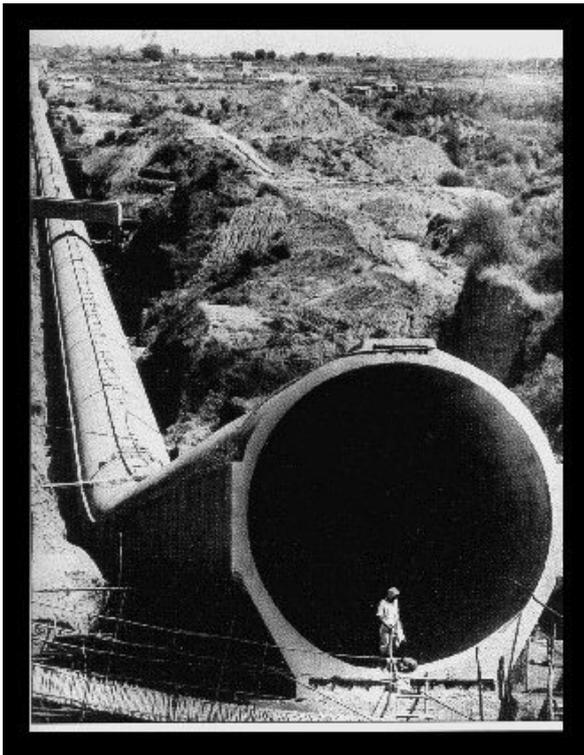
1918-1921 Ponte di Becquerel a Lille Nord
 1918-1920 Officine Schneider a
 Le Creusot Saône et Loire
 1921 Ponte ferroviario su la Sambre (arco 64m)
 (distrutto 1940)Candelier Belgique
 1922 **Ponte su la Garonne** (5 archi di 46m)
 Tonneins Lot et Garonne



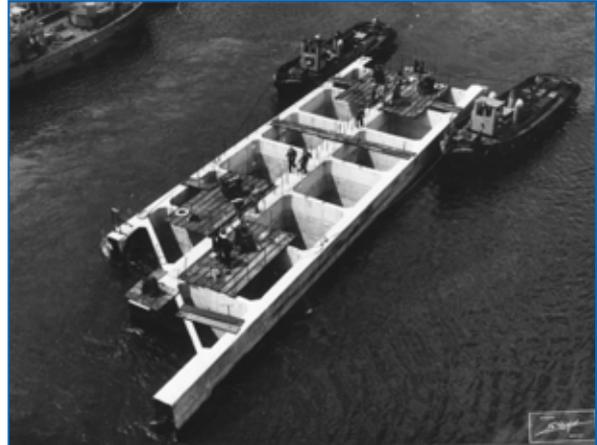
1921-1923 2 Hangars per dirigibili (distrutti nel
 1944)
 Orly Val de Marne
 1922-1923 Ponte sulla Seine(arco 131m)
 (minato nel 1940)
 St Pierre du Vauvray Eure
 1926 Ponte sul Voie SNCF a Laon Aisne
 1927 Ateliers della RATP
 ZAC Montsouris Paris 14
 1927 Ateliers della RATP 94
 Fontenay sous Bois Val de Marne
 1926-1928 **Officina** Compagnia nazionale des
 radiateurs,Damarie les Lys Seine et
 Marne



- 1924-1930 Ponte Albert Louppe sull'Elorn (3 archi 186m)
Plougastel Finistère
- 1929 Pali precompressi Offinine Forclum
Montargis Loiret
- 1930 Stazione Halle a Reims Marne
- 1934 Consolidamento della stazione
marittima
Le Havre Seine
- 1935-1939 Sbarramento e condotte in
pressione
Kunu India



1935-1940 **Cassoni di fondazione** del porto
Brest Finistère
(22x15x h22mt 3900ton)



- 1936 Ponte sulla diga des Portes du Fer
Algérie
- 1936-1939 Sopraelevazione diga Beni-Bahdel
Algérie
- 1941-1945 Ponte sul la Marne (luce 55m)
Luzancy Seine et Marne
- 1942 Ponte sull'Audelle
Elbeuf Seine-Maritime
- 1945-1949 Ponte de Fontaine sul le Dracq
Grenoble Isère
- 1947-1951 Ponti sulla Marne (luci 75m)
Annet, Changis, Esbly, Trilbardouy e
Ussy
- 1950 **Faro 62 m**
Berck Pas de Calais
una delle prime applicazioni
di precompressione "esterna"



1951-1953 3 viadotti Autostrada Caracas La
Guaira (150m) Venezuela

1956-1958 Basilica San Pio X (sotterranea)
 Lourdes Hautes Pyrénées

Da febbraio a luglio 1858, Bernadette Soubirous (1844-1879) sostiene di aver avuto alcune apparizioni della Madonna. Sulla scena di questi eventi, la Chiesa iniziò la costruzione di 40 mila metri quadrati di edifici: il primo santuario, inaugurato nel 1871, a firma dell'architetto Hippolyte Durand, la Basilica del Rosario, completata nel 1889, da parte dell'architetto Léopold Hardy e la Basilica metropolitana Pio X, eseguita dal 1956 al 1958 dall'architetto Pierre Vago. Questa Basilica, che copre una superficie di 14 000 metri quadrati è portata da 29 portali in cemento armato, progettati da Eugène Freyssinet, e può ospitare 20 000 pellegrini. Lo spazio all'interno, liberato dai pilastri, consente la raccolta dei fedeli intorno all'altare centrale.

(Foto da structurae)



1957-1959 **Ponte sull'autostrada N7**
 Orly Val de Marne



1959-1962 **Ponte St Michel sulla Garonne (5 travi di 65m)**
 Toulouse Haute Garonne



APPENDICI

Il cemento armato precompresso: dalle origini al successo internazionale.

L'idea di utilizzare un appropriato stato di presollecitazione per conferire al calcestruzzo la capacità di resistere a sforzi di trazione senza fessurarsi, come inevitabilmente accade nel cemento armato ordinario, era diffusa dalla fine dell'800. Due brevetti erano stati depositati da P.H.Jackson nel 1886 negli Stati Uniti e da C.E.W. Döhring nel 1888 in Germania e molti altri furono poi depositati, sia in Europa che negli USA, all'inizio del novecento⁹, ma la diffusione su larga scala del precompresso era ostacolata dalla scarsa conoscenza dei fenomeni lenti, la viscosità ed il ritiro del calcestruzzo ed il rilassamento dell'acciaio, che nel tempo annullano gli effetti benefici delle coazioni impresse.

Eugène Freyssinet viene giustamente considerato il vero padre del precompresso, per avere studiato fin dal 1911, nel ponte di Veurdre questi fenomeni. Freyssinet ed il suo collaboratore Jean Seailles, approntarono i loro brevetti in maniera autonoma rispetto ai contemporanei sperimentatori ed ai predecessori, senza essere a conoscenza del brevetto statunitense del 1886; però sarebbe distorto attribuire al solo Freyssinet il completo merito di questa innovazione; anche se ha avuto l'acume di sfruttare intellettualmente la corallità del sapere; iniziò fin dal 1910 a sperimentare lo scorrimento

⁹ Per esempio nel 1896 a Vienna J. Mandl propose di contenere le sollecitazioni derivate dai carichi di esercizio utilizzando la precompressione; nel 1907 il norvegese J. G. E. Lund suggerì di annegare barre di acciaio nel getto ancorate all'esterno con dadi stringenti; il tedesco M. Koenen, nel 1906, iniziò una serie di sperimentazioni su barre tese annegate nel calcestruzzo; il tedesco Zisseler e lo svizzero Siegwart, separatamente nel 1910, tentarono di avvolgere i tubi in calcestruzzo con cavo di acciaio teso; K Wettstein, Boemia, 1919, realizzò pannelli in calcestruzzo armato con barre di acciaio piatte fortemente pretese; e ancora W. H. Hewett, Usa 1922, realizza serbatoi rinforzati da cavi tesi; F. von Emperger, Vienna 1923, realizza tubi in calcestruzzo armati da cavi tesi, etc.

dell'acciaio rispetto al calcestruzzo, analizzò il problema del rilassamento dell'acciaio, propose l'impiego di calcestruzzo ad alta resistenza e stati di trazione dell'acciaio fino a 10.000 kg/cmq.

A partire dal 1928 EF si impegna nello sviluppo di un'idea che per la prima volta aveva già nel 1906. Da allora fino al 1936 inizia un periodo di saggi, prove ed errori, di fiaschi finanziari che lo privano della fortuna raggiunta in vent'anni di lavoro rispettabile. Costruisce di tasca propria delle fabbriche e si assume i rischi di imprese difficili.

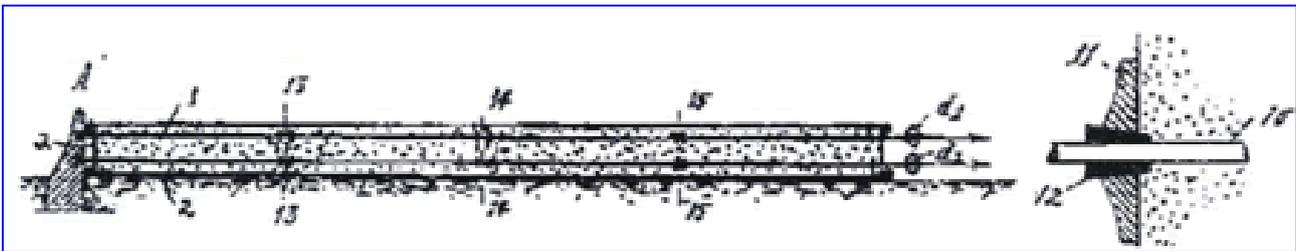
Ancora una volta, inventa processi di fabbricazione, progetta e costruisce macchine, come quella per elevare il limite elastico dell'acciaio (necessarie per la precompressione), mette a punto tutte le procedure per la messa in opera del precompresso ... e si trova di fronte un insieme di cose non famigliari: la mancanza di esperienza precedente gli impedisce l'accesso alla costruzione di ciò che vede possibile.

Ma non cede e la sua feroce morale gli impedisce qualsiasi motivo di rinuncia:

Karl Mautner, direttore tecnico della Wayss & Freytag, compì alcuni esperimenti con travi da 20 metri di luce in calcestruzzo armato precompresso. Mautner fu poi allontanato dalla Wayss & Freytag per problemi politici ma la ricerca nella Germania hitleriana fu portata avanti da Franz Dischinger, Ulrich Finsterwalder ed Ewald Hoyer, e nel 1937 fu completato il primo ponte tedesco¹¹ in calcestruzzo armato precompresso secondo il procedimento Dischinger (Brevetto del marzo 1936).

I due problemi centrali che si presentano in relazione con questo materiale sono le deformazioni differite (sconosciute e addirittura negate nel codice tecnico del 1906) e l'eventuale reversibilità, da un lato, e dall'altro gli effetti nocivi delle fessurazione del calcestruzzo, che in questo modo si configura come un materiale il cui comportamento porta in sé il germe della rovina:

“Un giorno ho avuto l'idea che, mentre non si può obbligare il calcestruzzo a proseguire senza rompersi la deformazione dell'acciaio, si può al



“Ma se, dopo aver dimostrato che un determinato dispositivo era buono ed utile, io ho esitato ad usarlo con il pretesto che non era stato utilizzato in precedenza, vorrei essere considerato come l'ultimo dei codardi.”¹⁰

Il 2 ottobre 1928, E. Freyssinet, ed il suo buon amico J. Seailles, depositano il Brevetto n. 680.547, definendo con precisione l'idea teorica della precompressione permanente del Calcestruzzo o di altro materiale e tutte le sue forme possibili di realizzazione. L'idea consisteva nel pretensionare barre di acciaio di elevate prestazioni ad oltre 4.000 kg/cm², prima di colare il calcestruzzo entro la cassaforma, con sistemi di ancoraggio dei cavi formati da piattello conico e cunei.

Anche dopo la diffusione del sistema Freyssinet del 1928-29 altri ricercatori depositarono numerosi brevetti per analoghi sistemi oppure di miglioramento dei dettagli. Si trattava ancora di pali e singoli elementi di “contenuta” dimensione; infatti, solo nel 1935 la società tedesca Wayss & Freytag, concessionaria per la Germania del brevetto Monier per il calcestruzzo armato normale, chiese a Freyssinet di studiare alcune travi da ponte che non vennero mai realizzate; ma

contrario imporre all'acciaio la deformazione del calcestruzzo. Per questo basta sottomettere il complesso delle armature ad una tensione totale più elevata che tutta la trazione, in modo che il calcestruzzo si troverà permanentemente compresso.”¹²

“Il C.a.p. perdona meno che altri materiali le contraddizioni tra le ipotesi e la realtà. Questo è sostanzialmente il motivo perché il calcestruzzo precompresso è così ricco di promesse di ordine estetico: è difficile farlo mentire.”¹³

Freyssinet pubblica nel 1936 un primo libro contenente l'esposizione dei suoi progressi in materia, solo dopo la conferma derivata dal risultato del consolidamento delle basi della Stazione Marittima di Le Havre

L'edificio, costruito per servire di base al più importante transatlantico francese del tempo, il Normandie, subiva enormi cedimenti differenziali

¹⁰ Citato in Fernández Ordóñez, José Antonio, “Eugène Freyssinet”, p.134

¹¹ Ponte “Adolf Hitler” a Aue in Sassonia (Germania), luce totale 115 metri, tre campate di luce variabile da 23 a 69 metri (campata centrale).

¹² Citato in Fernández Ordóñez, José Antonio, “Eugène Freyssinet”, nota 132, p.247.

¹³ Freyssinet, Eugène, conferenza tenuta a Bruxelles il 17 maggio 1946; citato in Fernández Ordóñez, José Antonio, “Eugène Freyssinet”, p.22

a causa dell'inconsistenza della portanza del terreno, che non era stata debitamente identificata e tenuta in conto nel progetto; il fallimento di vari tentativi di risolvere la situazione, la consapevolezza della tragedia che per il prestigio francese implicava conseguenze inimmaginabili, ha fatto sì che fosse giocata anche l'ultima carta, affidandosi ai metodi di un ingegnere caduto in discredito. Solidarizzando i nuovi rinforzi alle fondazioni esistenti, mediante la pretensione, Freyssinet riuscì a stabilizzare l'edificio, contro tutti i pronostici. Come prova dell'universalità del concetto, solitamente associato al solo caso delle travi rettilinee, questo successo fu ottenuto applicandolo ad un problema radicalmente diversi da quello della flessione pura.

Lo sfruttamento dei brevetti di EF è affidato all'impresa di Edme Campenon e EF porta il suo contributo rimanendo indipendente. Il contributo finanziario della Edme Campenon è di importanza cruciale per l'inizio effettivo dell'uso del c.a.p. Eugène Freyssinet utilizza la sua grande intuizione per concepire e realizzare le opere e si occupa direttamente dei progetti che presenteranno, ma lascia ai suoi collaboratori l'onere di fare tutte le verifiche necessarie. Il suo brevetto del 1939 relativo ai con di ancoraggio di cavi post-tesi segnò l'inizio della diffusione di questa tecnica costruttiva che si affermò poi su larga scala nel dopoguerra, favorita dalla carenza di acciaio per carpenteria metallica. Il sistema della post-tensione con i cavi inseriti in guaine viene brevettato da Freyssinet nel 1940 anche se altri, negli anni precedenti, ne avevano delineato il procedimento.

Effettivamente, la sua invenzione significava una rivoluzione. In pochi anni il sistema è stato adottato, adattato e copiato fino alla nausea e divenne un standard per una certa gamma di problemi. Anche se non ci fu l'opportunità di intraprendere le opere con continuità, perché la seconda guerra mondiale sarà un doloroso freno a questo.

Nel 1941 EF pubblica un secondo intervento, quasi una continuazione del precedente, intitolato: *Une révolution dans l'art de bâtir: les constructions précontraintes*. in "Travaux", n° 101, nov.1941.

Nel 1952 si costituisce la FIP (Federazione Internazionale del Precompresso), che inizia l'attività con un congresso nel 1953 e di cui EF sarà nominato presidente onorario.

Una storia del cemento armato precompresso dal 1930 al 1945, nell'europa in Guerra.

La storia delle origini del cemento armato precompresso è quasi interamente relativa al riarmo ed allo sforzo bellico, ed ha inizio nei primi anni trenta con la Germania che opera per la seconda guerra mondiale. Per questo motivo, ci

sono pochi elementi sullo sviluppo di questa tecnica.

L'idea di base era nell'aria da lungo tempo, ma fu Eugène Freyssinet a trovare come mettere questa idea in pratica.

Nel 1928 Freyssinet fu in grado di quantificare le sue osservazioni in modo che, insieme a Jean Séailles, deposita la prima domanda di brevetto per il processo di fabbricazione di c.a.p.. Nonostante la deformazione a lungo termine a cui il calcestruzzo è soggetto, il sistema ha funzionato perché l'allungamento dei cavi ad alta resistenza era sufficiente per mantenere gli effetti della precompressione anche dopo che il calcestruzzo si era accorgiato.

Nel 1928, tuttavia, non si riteneva che fosse possibile sfruttare in pieno questo processo commercialmente. Tutto quello che Freyssinet fu in grado di produrre furono pali in c.a.p. per le linee di energia elettrica; e in considerazione delle condizioni economiche critiche del momento, non erano per niente redditizie.

Nel 1933, con il coraggio dato dalla disperazione, Freyssinet accetta l'incarico di salvare il molo dei transatlantici nel porto di Le Havre.

I francesi stessi non mostrarono grande interesse per l'invenzione. I tedeschi, d'altro canto, desideravano risparmiare acciaio per la guerra



(una guerra che volevano combattere anche contro la Francia, naturalmente), e la società tedesca Wayss & Freytag ottenne una licenza da Freyssinet, che utilizzò quasi esclusivamente per la costruzione di Bunker. L'azienda dimostra la reale portata di travi di cemento armato precompresso con due test su elementi a vasta scala.

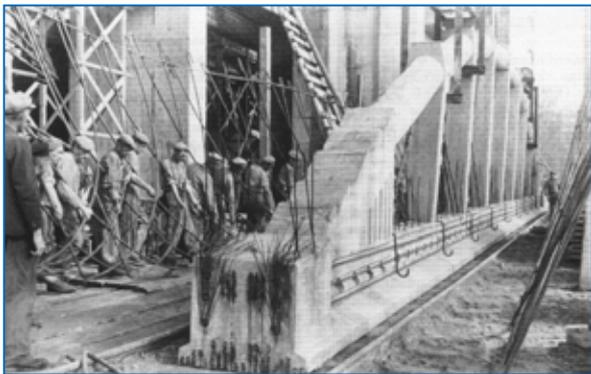
Inizialmente il capo negoziazione per la Wayss & Freytag era il prof. Karl W. Mautner¹⁴, ma poiché era un ebreo di nascita, i nazisti lo rimossero

¹⁴ Egli ha firmato i documenti semplicemente con la sua iniziale, "M".

presto da tutti i suoi uffici. Nel pogrom del 9 novembre 1938, viene arrestato e deportato al campo di concentramento di Buchenwald, dove rimane per sei settimane. L'impresa Mouchel Engineers investì un sacco di soldi ed ottenne l'aiuto dei servizi segreti di diversi governi per liberare Karl Mautner e sua moglie e portarli in Inghilterra nell'estate del 1939. Probabilmente il più importante contenuto dei bagagli di Mautner sono stati i registri delle prove delle sperimentazioni sulla precompressione svolte in Francia e Germania.

In contrasto con l'accoglienza data al c.a.p in Germania, questo fu oggetto di un grande dibattito aperto presso la società britannica degli ingegneri civili in Inghilterra. Il 28 maggio 1940, una trave di prova fu portata a rottura. Contemporaneamente, nel 1940-41, quello che sarà il più grande deposito di bombe nel mondo, a quel tempo, fu costruito in una cava sotterranea, utilizzando almeno 3.000 travi di cemento armato precompresso, poste ad un intervallo di 5 mt.

Ma c'è anche un lato tragico di questa vicenda: in una sola costruzione tedesca, dove si usava il precompresso, più di mille prigionieri hanno perso la vita a per gli incidenti, la fame, il congelamento, per le inumane condizioni di lavoro e per i bombardamenti alleati. Nella foto prigionieri del campo di concentramento inseriscono pesanti barre d'acciaio in funzione di rinforzo anti bomba in una trave reticolare di c.a.p.



a Brema-Farge.

Con ogni probabilità, né Freyssinet né Campenon Bernard collaborarono con grande zelo con i tedeschi. La situazione è stata probabilmente simile a quella descritta da Jean Paul Sartre: *"Sarò capito se dico che l'occupazione era intollerabile, ma allo stesso tempo che siamo stati confortevolmente con essa?"*.

Solo tre ponti in c.a.p. furono realizzati in Francia durante gli anni della guerra e non furono costruiti da Campenon Bernard, ma da Sainrapt & Brice, un'impresa che ha collaborato strettamente con i tedeschi e che era in grado di dirottare il cemento

e l'acciaio, destinati alla costruzione della difesa della costa sull'Atlantico, per altri scopi.

Ma Freyssinet non rinuncia a provare nuove idee. Nel 1941-42, egli ha costruito un ponte di luce modesta 10.5 mt con una soletta a lastra sopra un fiume in prossimità di Elbeuf vicino a Rouen. Si tratta del primo intervento di post-tensione. Egli ha usato un nuovo sistema di cavi di precompressione con ancoraggi a forma di cono, con andamento dei cavi curvo e guaina di rivestimento riempita con bitume per evitare il contatto e garantire lo scivolamento dei cavi. C'erano inoltre dei cavi posti in senso trasversale, della stessa natura.

Nel 1942-43, un ponte simile a soletta precompressa di 20 mt di luce fu costruito sul corso di un fiume a Longroy. In questa occasione, il post-tensionamento fu applicato passo passo.

Senza dubbio, l'uomo che avuto maggiore successo commerciale con il cemento armato precompresso prima del 1945 fu Ewald Hoyer, che ha sviluppato un sistema per piccole travi in cemento armato pre-teso con fili molto sottili che chiamò "piano-stringconcrete". Le travi potevano essere tagliate di qualsiasi lunghezza richiesta, poiché i fili si espandevano elasticamente al taglio e si reancoravano senza perdere la tensione.

Questo principio era già stato descritto in un brevetto francese complementare a quello di Freyssinet. Hoyer aveva tuttavia ottenuto un brevetto tedesco a seguito della legislazione speciale di guerra, e a Gennevilliers vicino a Parigi, ha fabbricato una incredibile quantità di travi per i bunkers tedeschi a difesa della costa atlantica (Atlantic Wall.) Così oltre 1.500 persone hanno lavorato nella fabbrica di Gennevilliers, e le forze di occupazione costrinsero Campenon Bernard a mettere a disposizione per il funzionamento di questa attività un certo numero dei suoi ingegneri.

Il fatto che il brevetto tedesco di Hoyer non era giuridicamente valido in Francia fu qualcosa che nessuno ha osato esprimere.

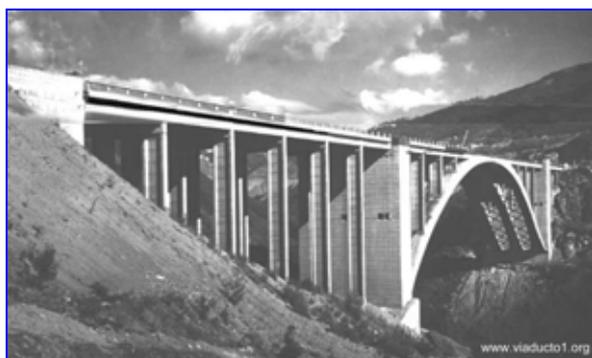
Una nota curiosa. Il pittore tedesco Emil Nolde (1867-1956), che cadde in disgrazia sotto il nazismo per la sua arte degenerata, non era più in grado di acquistare i colori per dipingere. Fortunatamente il suo amico Max Lütze era responsabile alla Wayss & Freytag dei contatti con Freyssinet, e nelle occasioni in cui si recava a Parigi, prendeva i colori per Nolde. Forse anche alcune delle sue opere, appartengono alle più belle cose fatte in cemento armato precompresso.



La costruzione dei viadotti dell'autostrada Caracas La Guaira.

Il Viadotto numero 1 dell'autostrada Caracas-La Guaira (150 mt di luce. $f/L = 1/7$) è senza dubbio, un capolavoro di ingegneria, ed un orgoglio del Venezuela. Esso è stato progettato e costruito nel 1950 dalla ditta francese Campenon Bernard, sotto la concezione e consulenza di Eugene Freyssinet.

Quando fu prospettato a Eugene Freyssinet di progettare questi viadotti constatò che le luci



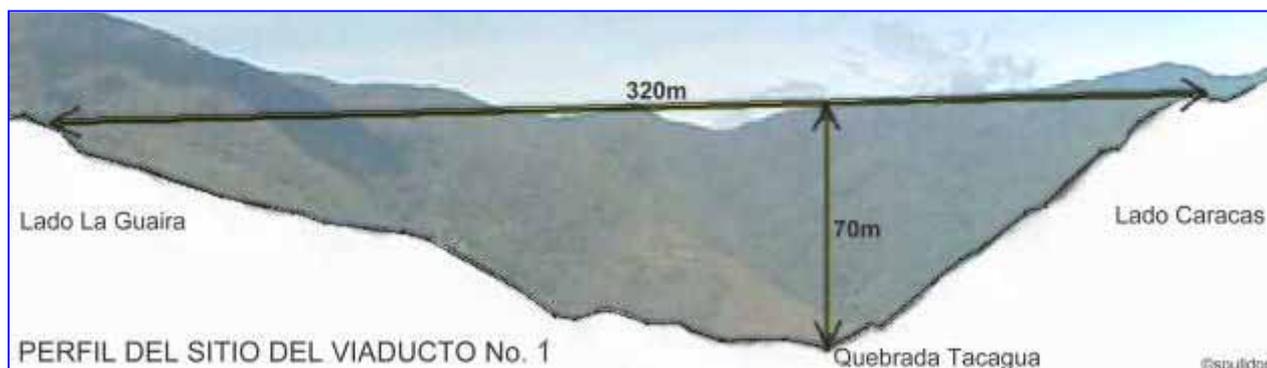
previste (152mt) erano simili o leggermente inferiori a quelle del ponte di Plougastel (18 mt) in servizio dal 1930. Inoltre, l'onere delle prescrizioni di progetto previste per i viadotti di Caracas (aasho h20-44) sono minori, perché non era previsto il passaggio delle ferrovie, il che ha portato Freyssinet ad un progetto con tre archi paralleli molto più slanciati invece di uno solo, e ha ulteriormente migliorato il progetto dell'arco cavo come quello usato a Plougastel, per ottimizzare l'uso di materiali, e prevedendo per la prima volta l'uso del calcestruzzo presollecitato.

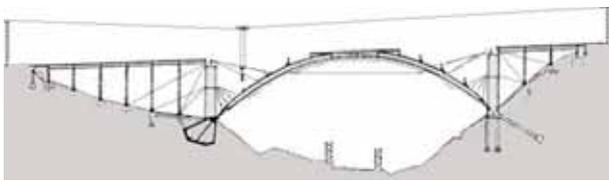
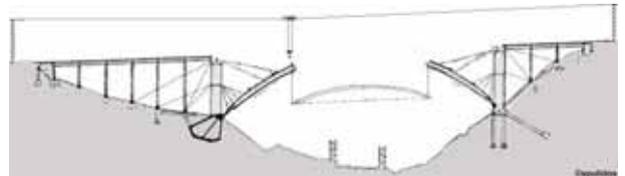
Le scadenti caratteristiche del suolo sulle pendici della Quebrada Tacagua hanno consigliato di utilizzare appoggi articolati, a differenza di Plougastel dove gli appoggi erano fissi, al fine di minimizzare gli sforzi trasmessi alle fondazioni. Questa previsione ha contribuito a far risparmiare notevoli quantitativi di materiali strutturali. Freyssinet utilizzò varie articolazioni di calcestruzzo armato di propria invenzione, anche nelle bielle di appoggio del tavolato sugli archi e nelle quindici pile di appoggi intermedi.

Questo, come gli altri viadotti dell'autostrada, sono integralmente fatti di cemento armato, e nella maggior parte dei suoi elementi è stato utilizzato rafforzamento con cavi postesi, e sia le arcate come i pilastri sono a sezione cava, allo scopo di alleggerire il carico e ottimizzare l'impiego di materiale. Molte parti della struttura, come travi, pavimenti e solette, furono costruiti con moduli prefabbricati, per essere poi uniti con malte speciali e cavi post-tesi.

Il progetto del processo costruttivo dell'arco fu probabilmente la più grande sfida. La grande altezza al centro dell'arco e il brusco fondo della vallata, come pure le precarie condizioni del suolo, accompagnata dai devastanti effetti di un possibile ciclone "Caraibico", ha reso molto rischioso e quindi proibitivo l'uso di un centinaio tradizionale per sopportare la struttura in costruzione.

La responsabilità dei dettagli del progetto furono affidati ad un gruppo di giovani ingegneri comandati da Jean Muller, che allora aveva solo 25 anni, e sotto la guida di Pierre Decharne, assistente di Freyssinet per più di quarant' anni.





SCRITTI

"Naissance du béton précontraint et vues d'avenir", dans "Travaux", juin 1954, n. 236 .

"Un amour sans limite" Editions du Linteau, Paris (France) , ISBN 291034200X, 1993.

"Cinquante ans de béton armé: l'évolution future des propriétés des matériaux", "Travaux", mai 1943, n. 107
" Commission d'études techniques de la Chambre Syndicale des Constructeurs en ciment armé de France"
dans "Travaux", octobre 1950, n. 192 .

"Elargissement du pont Saint-Michel à Toulouse", dans "Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics", janvier 1958 . Freyssinet, Eugène "Eugène Freyssinet, par lui-même", dans "Travaux", avril 1966, n. 375 .

"Évolution du rôle des précontraintes dans les constructions et conséquences de leur utilisation systématique. Conférence, dans "Travaux", août 1949, n. 178 .

"Exposé d'ensemble de l'idée de précontrainte (1949), dans "Travaux", avril 1966, n. 375 Freyssinet, Eugène

L'idée française de Précontrainte révolutionne l'art de construire", dans "Travaux", juillet 1957, n. 273 .

"Idées et voies nouvelles", dans "Travaux", mai 1966, n. 376 .

" Idées et voies nouvelles", dans "Construction et Travaux Publics", janvier 1933, n. 1 .

"Incidents survenus au cours de la construction du bâtiment des émetteurs de la station radio de Feisberg (Europe n°1)", dans "Travaux", février 1956, n. 256 .

"Note sur: Bétons plastiques et bétons fluides, dans "Construction et Travaux Publics", septembre 1933, n.9

"Observations sur le béton précontraint", dans "Travaux", février 1949, n. 172 .

"Progrès pratiques des méthodes de traitement mécanique des bétons. La reprise en sous-?uvre des fondations de la gare transatlantique du Havre", dans "Travaux", juin 1935, n. 30.

"Quelques aspects de la résistance à la rupture en flexion des poutres continues précontraintes", dans "Travaux", juin 1957, n. 272 .

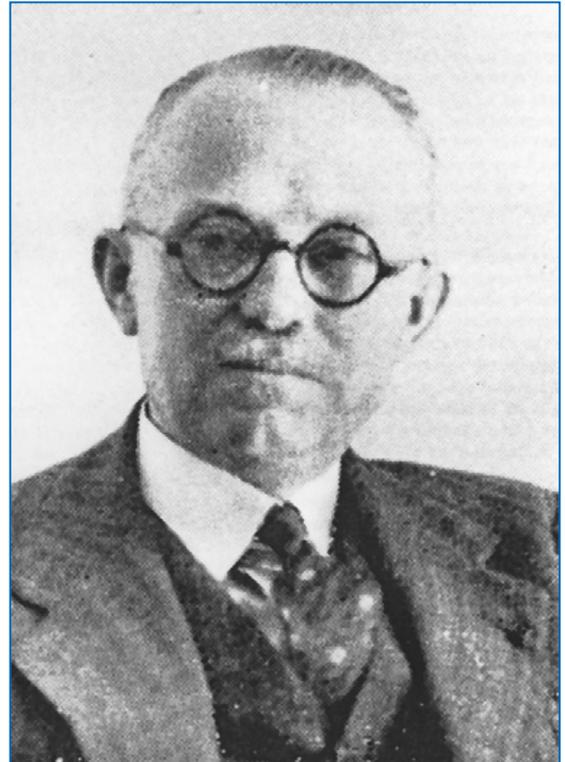
"Relations entre les déformations et la constitution des ciments et des matériaux de structure colloïdale",

"Une révolution dans les techniques du béton">, Librairie de l'enseignement technique, Paris (France) , 1939.

"Une révolution dans les techniques du béton - Conférence" dans "Travaux", janvier 1936, n. 37 .

Freyssinet, Eugène "Rôle des déformations non élastiques du béton précontraint", dans "Travaux", février 1951, n. 196 .

"La soudure appliquée au béton armé (conférence): Conclusions", dans "Travaux", août 1939, n. 80



RIFERIMENTI

- Eugène Freyssinet. Fernandez Ordonez, Jose A: 1978
- Eugène Freyssinet di A.Chiarugi e Gloria Terenzi, in Costruire con il Cemento armato, Cap.2, M.Mezzina. UTET 2001
- Casabella, n. 541, dic. 1987
- The Story of Prestressed Concrete from 1930 to 1945: A Step Towards the European Union - Bernard Marrey & Jupp Grote *The CHS Newsletter n.65 Feb.2003*
- Carlo Cestelli Guidi. Cemento Armato Precompresso. Hoepli MI 1987
- Muriel Emmanuel. Contemporary Architects. New York: St. Martin's Press, 1980.
- <http://pagespro-orange.fr/claude.raynal/car/assoef/assoef.htm> ASSOCIATION POUR LA MEMOIRE ET LE RAYONNEMENT DES TRAVAUX D'EUGENE FREYSSINET
- <http://musee-batiment.planet-allier.com/pages/freyssinetpag.html>
- <http://membres.lycos.fr/assoef/>
- http://www.geocities.com/spulidos/P_Historia.html

Alcune frasi di Freyssinet:

"Io penso che, privata del sostegno dell'esperienza, la deduzione matematica è una fonte di errori, particolarmente pericolosa perché è piena d'attrazioni."

"Certamente, per realizzare tali idee, mi ci sono voluti pazienza, perseveranza, una probità tecnica totale. Forse, se avessi avuto dei particolari doni intellettuali che mi vengono attribuiti così generosamente, dovrei aver raggiunto i miei obiettivi con meno sforzo. In ogni caso, ho avuto un inesorabile tenacia e almeno tre volte durante la mia vita ho dimostrato un'audacia fino al disprezzo dei più grandi rischi.

Ma queste qualità non hanno nulla a che fare con la scienza o con intelligenza, che non possiedono strumenti né alcuna forza creativa. Una unica cosa la contiene e può fornirla, è l'amore. Non un amore occasionale o superficiale, ma un amore senza limiti al quale si è dedicata tutta la propria vita, senza restrizioni o riserve".

"Non ci sono per me che due fonti d'informazione: la percezione diretta dei fatti e l'intuizione, in cui io vedo l'espressione ed il riassunto di tutte le esperienze accumulate dalla vita nel nostro subconscio.

Naturalmente l'intuizione è controllata dall'esperienza. Ma quando è in contraddizione con il risultato di un calcolo io faccio rifare il calcolo, ed i miei collaboratori prevedono che, alla fine, è sempre il calcolo che è sbagliato".

"Giovani, non credete a chi vi dirà che ho fatto una carriera eccezionale perché ho avuto il dono di una intelligenza eccezionale, perché è falso. Questa è una scusa, un pretesto, da dare al pigro ed allo scansafatiche. Per fare ciò che ho fatto, non ho avuto bisogno, in nessun momento, di una intelligenza eccezionale".

"Credetemi, giovani, se avete il desiderio di elevarvi al di sopra di voi stessi e degli altri, il modo migliore sarà quello di amare soprattutto il vostro lavoro, e di impegnarvi totalmente. Questo amore vi darà la forza per superare la fatica, la sfiducia, le suggestioni della vanità, dell'avidità e anche della paura".

"Nel 1913, ho inventato le volte a nervature superiori, e nel 1916 le centine spostabili. Se le avessi brevettate, mi sarei fatto miliardario".



Una riunione con Eugène Freyssinet (in alto al centro) e Edme Campenon (in alto a sx)

TRAVAUX PUBLICS

BÉTON ARMÉ

REGISTRE ANONYME 005

TOMBLAËN
(M^{me} et M^{lle})

le 28 AOUT

Entreprises Limousin

(PROCÈDES FREYSSINET)

Capital 6.000.000 de Francs

SIÈGE SOCIAL: 20 Rue Vernier

PARIS (17^e)

TÉLÉPHONE GALVANI | 38-06
| 71-88

Adresse Télégraphique

LIMARMÉ - PARIS

REGISTRE DU COMMERCE DE LA SEINE N° 222.518

Agence de Lyon

83 Avenue Félix Faure

TÉLÉPHONE VAUDREY 13-06

CERTIFICAT

Nous soussignés, certifions que

cimentier GIOVANNARDI Roberto, n° le I

1897 à Prensuele (Italie) a été occupé

différents chantiers depuis le 22 Octob:

Jusqu'au 21 Aout 1926 .

Dossier N°

PIECES JOINTES :

NOTA DELL'AUTORE:

Ricordo che quand'ero piccolo mia mamma mi raccontava, quasi sussurrando, che mio padre non aveva mai conosciuto il suo, perché era morto, a soli 29 anni, prima che nascesse. Ecco perché si chiamavano entrambi Roberto. Crescendo ho saputo che mio nonno, nato il 16 gennaio 1897, dovette fuggire nottetempo nel 1922, perché fortemente inviso al nascente regime fascista, e riparare in Francia, dove l'aveva poi raggiunto sua moglie, nonna Rina. Dalla Francia avrebbe fatto ritorno in Italia solo per morire alla fine del 1926, pochi mesi prima che nascesse mio padre.

Morta mia nonna, sono venute fuori alcune carte da lei custodite gelosamente.

Una di queste è un certificato dell'Enterprises Limousine (Procèdes Freyssinet) che attesta il lavoro di mio nonno presso suoi differenti cantieri.

Questa ricerca vuole essere un omaggio oltre che all'ingegnere Eugène Freyssinet, anche all'uomo, il cui operato ha permesso a tante persone di vivere con dignità, in un'epoca tragica.

Foto di copertina:

Hangar di Orly

Retro: Gare de Reims

Pour la Sociéte Anonyme de
Entreprises LIMOUSIN



STUDIO GIOVANNARDI E RONTINI
Architettura Urbanistica Ingegneria

2 Edizione Agosto 2008

Questa opera è pubblicata sotto
Licenza Creative Commons
Attribuzione-Non commerciale-Condividi allo stesso modo
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/deed.it>



www.giovannardierontini.it