L'utilizzo di tecniche appropriate nella progettazione di strutture composite: il software RM™ Bridge di Bentley

Un metodo coerente per l'analisi degli effetti a lungo termine nei ponti in materiale composito

*Dorian Janjic**
*Johann Stampler**
*Heinz Bokan**

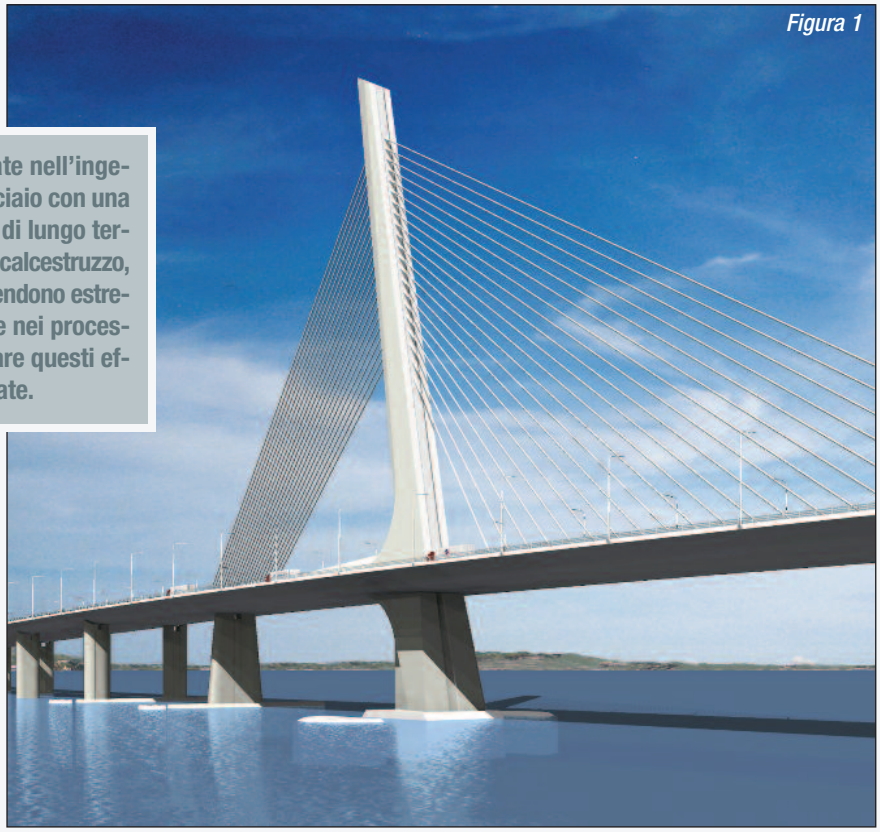


Figura 1

Le strutture composite sono ampiamente utilizzate nell'ingegneria dei ponti, per lo più combinando travi in acciaio con una soletta in calcestruzzo gettata in opera. Gli effetti di lungo termine dovuti alla deformazione viscosa e al ritiro del calcestruzzo, insieme allo specifico comportamento strutturale, rendono estremamente importante l'uso di tecniche appropriate nei processi di progettazione e di analisi, al fine di considerare questi effetti in accordo con teorie sufficientemente accurate.

In questo articolo saranno descritti alcuni dei problemi che sorgono nel processo di progettazione e di analisi di ponti in materiale composito, insieme alla loro soluzione. Sarà qui illustrata la teoria di base necessaria per la corretta modellazione numerica degli effetti di lungo termine in combinazione con il comportamento strutturale specifico dei ponti. Viene proposta una soluzione coerente sia per la teoria elastica lineare sia per quella non-lineare. La soluzione presentata è stata implementata nel software RM Bridge, disponibile in commercio.
Sarà brevemente descritta questa implementazione nel software di progettazione. Il sistema tiene conto di tutti i tipi di carico quasi-permanente e del momento in cui sono applicati alla struttura. Il calcolo strutturale prevede il calcolo degli effetti dovuti a deformazione e ritiro negli intervalli di tempo che intercorrono prima dell'attivazione di nuovi componenti strutturali e dell'applicazione di nuovi carichi importanti. Con tali strumenti, gli strutturisti sono in grado di prevedere e seguire il comportamento strutturale e dei materiali attraverso tutte le fasi di costruzione del ponte. Un pre-processore geometrico e un potente post-processore grafico facilitano il confronto in tempi rapidi dei comportamenti e dei costi tra le diverse varianti. Diversi ponti compositi sono stati già progettati e analizzati con successo applicando la soluzione presentata.
I ponti presentati in questo documento come esempi tipici sono utili per la comprensione dei problemi specificamente legati al comportamento di strutture composite riscontrati e risolti nel processo di progettazione utilizzando questa soluzione.

La viscosità e il ritiro

Nelle strutture composite con elementi in calcestruzzo, la deformazione viscosa e il ritiro del calcestruzzo causano negli elementi di acciaio sollecitazioni e tensioni aggiuntive in funzione del tempo. La progettazione accurata di strutture composite in acciaio richiede una modellazione numerica degli effetti dipendenti dal tempo all'interno delle procedure di progettazione e di analisi.
Il verificarsi di deformazioni plastiche nel tempo è una proprietà del calcestruzzo. Sono costituite da due componenti: la deformazione viscosa e il ritiro.
La deformazione viscosa rappresenta una non-linearità del materiale, funzione delle sollecitazioni, per cui il materiale continua a deformarsi sotto un carico costante.
Il ritiro non dipende invece dai carichi e anche elementi scarichi ne sono soggetti.

La deformazione dovuta alla viscosità è generalmente espressa come funzione lineare di quella elastica ε_e, cioè $\varepsilon_{cr} = \varepsilon_e * \phi$.
Entrambi, il fattore di deformazione viscosa ϕ e la sollecitazione dovuta al ritiro ε_s, dipendono da un insieme di proprietà globali identificato con γ:

- parametri globali (come le caratteristiche del cemento, la qualità del calcestruzzo, dati ambientali, temperatura media, umidità media, proprietà del materiale, ecc.);
- proprietà della sezione trasversale, spessore medio, ecc.;
- età del calcestruzzo.

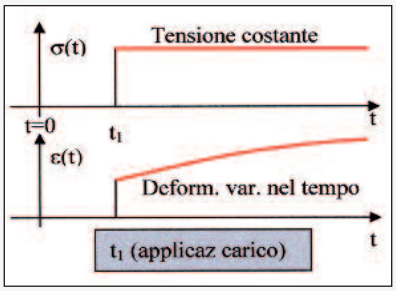


Figura 2 - La viscosità: l'andamento della deformazione nel tempo, con carico costante

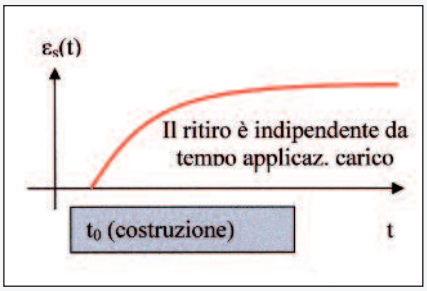


Figura 3 - Il ritiro: l'andamento della deformazione nel tempo

Il fattore di deformazione viscosa è funzione del tempo di applicazione dei carichi, il ritiro ne è slegato.
La deformazione plastica totale è la somma della deformazione viscosa e del ritiro, come mostrato nell'equazione (1):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pl} &= \varepsilon_e * \varphi + \varepsilon_s \\ \varepsilon_s &= \varepsilon_s(t,\gamma) \\ \varphi &= \varphi(t,\tau,\gamma) \end{aligned} \qquad (1)$$

dove:
ε_{pl} = deformazione plastica dovuta a viscosità e ritiro;
ε_e = deformazione elastica dovuta ai carichi permanenti;
ε_s = deformazione da ritiro funzione del tempo t e della proprietà globale γ;
ϕ = fattore di deformazione viscosa, funzione del tempo t, del tempo di applicazione del carico τ e della proprietà globale γ.
I metodi per determinare il fattore di deformazione viscosa e la deformazione da ritiro sono molto complessi. Oggigiorno viene ampiamente usato il modello CEB-FIP.
Molti dei nuovi codici di progettazione (Eurocodice, DIN, ecc.) si basano su queste regole, con minime differenze dall'originale. I dettagli sono reperibili nel documento CEB-FIP [1].
Il metodo utilizzato in questo lavoro si basa su uno schema ad intervalli temporali.
La soluzione dell'equazione differenziale di base del problema può essere scritta in funzione dell'intervallo di deformazione viscosa analizzato $[t_n, t_{n+1}]$ come segue:

$$\varepsilon_{t_{n+1}} = \varepsilon_{t_n} + \int_{\tau=0}^{t_n} \frac{1}{E}\cdot\frac{\partial\sigma_c}{\partial\tau}\cdot\left[\int_{t=t_n}^{t_{n+1}} \frac{\partial\varphi}{\partial t}(t,\tau,\gamma)\cdot dt\right]\cdot d\tau + \int_{t=t_n}^{t_{n+1}} \frac{\partial\varepsilon_s}{\partial t}(t,\gamma)\cdot dt + \int_{\tau=t_n}^{t_{n+1}} \frac{1}{E}\cdot\frac{\partial\sigma}{\partial\tau}\cdot\left[1+\int_{t=\tau}^{t_{n+1}} \frac{\partial\varphi}{\partial t}(t,\tau,\gamma)\cdot dt\right]\cdot d\tau$$

$$\sigma_{t_{n+1}} = \sigma_{t_n} + \int_{t_n}^{t_{n+1}} \frac{\partial\sigma_c}{\partial t}\cdot dt \qquad (2)$$

dove:
ε_{tn} = la deformazione totale all'inizio del periodo $[t_n, t_{n+1}]$;
σ_c = la tensione nel calcestruzzo al tempo t;
ϕ = il fattore di deformazione viscosa funzione del tempo di applicazione del carico τ e delle proprietà globali γ;
ε_s = il ritiro noto, funzione indipendente dal tempo di applicazione del carico;
ε_{tn+1} = la deformazione alla fine dell'intervallo di analisi $[t_n, t_{n+1}]$;
σ_{tn} = la tensione totale all'inizio del periodo di deformazione viscosa $[t_n, t_{n+1}]$;
σ = la tensione nell'intervallo di analisi della deformazione viscosa $[t_n, t_{n+1}]$;
σ_{tn+1} = la tensione totale alla fine del periodo di deformazione viscosa $[t_n, t_{n+1}]$.
Nella (2) il primo termine del lato destro rappresenta la deformazione totale all'inizio dell'intervallo di tempo, il secondo termine la deformazione viscosa addizionale verificatasi nell'intervallo di tempo a causa degli incrementi di tensione avvenuti prima di tn, il terzo termine il ritiro avvenuto nell'intervallo di tempo e l'ultimo termine rappresenta la deformazione viscosa indotta dal cambiamento di tensioni avvenuto nello stesso periodo di tempo.
L'ultimo termine rappresenta una ben nota definizione di ricorsività della viscosità: il cambiamento di deformazione dipende dal cambiamento di tensione, e viceversa.
Assumendo che l'intervallo di tempo $[t_n, t_n+1]$ sia abbastanza piccolo, possiamo riscrivere la (2) in forma algebrica come segue in (3) e (4):

$$\begin{aligned} &\Delta\varepsilon_{t_n} = \varepsilon_{t_{n+1}} - \varepsilon_{t_n} \qquad \Delta\sigma_{t_n} = \sigma_{t_{n+1}} - \sigma_{t_n} \\ &\Phi_i = \int_{t=t_n}^{t_{n+1}} \frac{\partial\varphi_l}{\partial t}(t,\tau_i,\gamma)\cdot dt \qquad \bar{\varepsilon}_s = \int_{t=t_n}^{t_{n+1}} \frac{\partial\varepsilon_s}{\partial t}(t,\gamma)\cdot dt \qquad \Phi_w = \int_{t=t_n}^{t_{n+1}} \frac{\partial\varphi}{\partial t}(t,t_w,\gamma)\cdot dt \end{aligned} \qquad (3)$$

$$\Delta\varepsilon_{t_n} = \sum_{l=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_l}{E}\cdot\Phi_i + \bar{\varepsilon}_s + \frac{\Delta\sigma_{t_n}}{E}\cdot\left[1+\Phi_w\right] \qquad (4)$$

Nell'equazione (4) il problema viene trasformato in forma incrementale:

- il primo termine si trasforma dalla forma integrale nella somma di incrementi finiti di deformazione l = 1,…, n al tempo τi prima di analizzare il periodo di viscosità pesata con il relativo fattore di viscosità;
- il secondo termine rappresenta semplicemente la deformazione aggiuntiva dovuta al ritiro;
- l'ultimo termine introduce i fattori di ponderazione w_1 e w_2 nel semplice algoritmo a intervalli temporali, definendo l'influsso della deformazione elastica all'inizio e alla fine dell'intervallo temporale con il valore medio.

Nell'equazione (5) viene illustrato il significato dei fattori di ponderazione w_1 e w_2.

$$\begin{aligned} t_w &= t_n * w_2 + t_{n+1} * w_1 \\ w_1 + w_2 &= 1 \end{aligned} \qquad (5)$$

dove:
t_w = tempo di carico effettivo per l'incremento di deformazione che nasce durante l'intervallo di deformazione viscosa. L'incremento totale di deformazione alla fine dell'intervallo di deformazione viscosa viene riportato "indietro" nel tempo per coprire l'effetto "viscosità della viscosità".

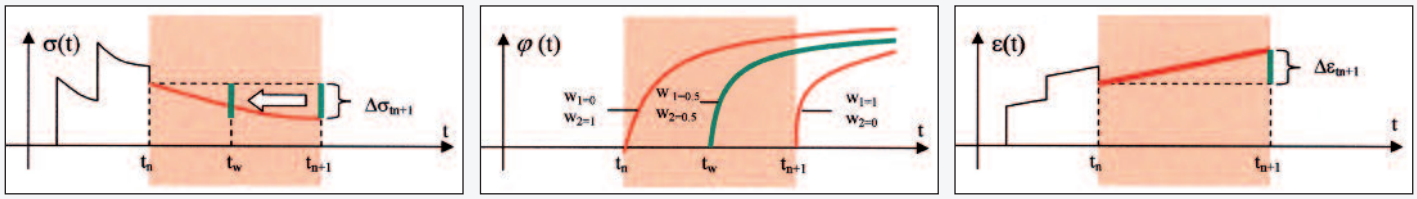


Figure 4A, 4B e 4C - Le tensioni, il fattore di viscosità e l'andamento della deformazione nell'intervallo di tempo t_n-t_{n+1}

Questo nuovo approccio consente di memorizzare risultati di viscosità coerenti come risultato di "normali combinazioni di carico".
La deformazione elastica è data dall'equazione (6):

$$\varepsilon^e(t) = \varepsilon^e_{t_n} \cdot (1 - \frac{t - t_n}{\Delta t}) + (\varepsilon^e_{t_n} + \Delta\varepsilon^e_{t_{n+1}}) \cdot \frac{t - t_n}{\Delta t}$$
$$\varepsilon^e(t) = \varepsilon^e_{t_n} \cdot w_2 + (\varepsilon^e_{t_n} + \Delta\varepsilon^e_{t_{n+1}}) \cdot w_1 \qquad (6)$$

L'analisi della deformazione viscosa esplicita e implicita

Il valore dei fattori di ponderazione w_1 e w_2 controlla la qualità della soluzione. Per $w_1 = 0$, la soluzione degenera nell'integrazione esplicita del tempo (metodo di Eulero avanzato). La velocità di deformazione all'inizio dell'intervallo di tempo si suppone costante per tutto l'intervallo Δt. Per ridurre al minimo l'errore sono necessari intervalli temporali molto piccoli. L'approccio esplicito non è pertanto raccomandato per l'analisi della viscosità.
Il metodo diventa implicito per tutti i fattori di ponderazione con $w_1 > 0$, mentre $w_1 = 1$ si riferisce al metodo di integrazione inverso di Eulero.
Altre proposte di schemi di integrazione implicita nel tempo sono fornite in letteratura [2], come ad esempio lo schema della differenza centrale ($w_1 = w_2 = 0{,}5$) o lo schema di Galerkin ($w_1 = 2/3$ e $w_2 = 1/3$).
Schemi con $w_1 \geq 0{,}5$ sono numericamente incondizionatamente stabili, cioè non necessitano di intervalli di tempo molto piccoli. Il metodo della viscosità implicita è generalmente più accurato, ma la precisione è ancora dipendente dall'ampiezza dell'intervallo temporale. E' necessario utilizzare un intervallo di tempo ragionevole per catturare in modo accurato il comportamento non lineare della viscosità.

L'implementazione con rigidezza aggiustata

L'equazione (4) può essere risolta in funzione dell'incremento di tensione incognito come segue:

$$\Delta\sigma_{t_n} = \frac{E}{1+\Phi_w} \cdot \left[\Delta\varepsilon_{t_n} - \sum_{l=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_l}{E} \cdot \Phi_l - \bar{\varepsilon}_s \right] \qquad (7)$$

Comparando l'equazione (7) con la definizione ingegneristica di tensione-deformazione, si nota che è possibile utilizzare esattamente la stessa formulazione agli elementi finiti. L'unica differenza è che per la combinazione di carico della deformazione viscosa, il modulo di elasticità deve essere sostituito con E^{adj} [3], come indicato nell'equazione (8) "Modulo effettivo aggiustato con l'età":

$$E^{adj} \equiv \frac{E}{1+\Phi} \qquad (8)$$

Lo svantaggio dell'implementazione con rigidezza modificata è che gli effetti della viscosità non possono essere considerati insieme ad altri carichi o alla non-linearità. Pertanto il metodo iterativo descritto più avanti è consigliato ed è stato scelto per l'implementazione del pacchetto software [4].

L'implementazione con Newton-Rapshon

Nel metodo iterativo di Newton-Raphson, la deformazione viscosa causata da incrementi di tensione avvenuti nell'intervallo di tempo viene considerata come una non-linearità aggiuntiva. Si applica un meccanismo iterativo fino al raggiungimento della convergenza.

$$\left| \Delta\sigma_{t_n} - E \cdot \Delta\varepsilon_{t_n} + E \cdot \left[\sum_{l=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_l}{E} \cdot \Phi_i + \bar{\varepsilon}_s + \frac{\Delta\sigma_{t_n}}{E} \cdot \Phi_w \right] \right| \leq Tolleranza \qquad (9)$$

Nell'equazione (9) la deformazione plastica causata dagli incrementi di tensione durante l'intervallo temporale non è nota. La soluzione lineare consiste nello stimarne l'entità utilizzando i valori dell'ultima iterazione k-1:

$$\left| \Delta\sigma^k_{t_n} - E \cdot \Delta\varepsilon_{t_n} + E \cdot \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_l}{E} \cdot \Phi_i + \bar{\varepsilon}_s + \frac{\Delta\sigma^{k-1}_{t_n}}{E} \cdot \Phi_w \right] \right| \leq Tolleranza \qquad (10)$$

La soluzione dell'equazione (10) richiede la memorizzazione del passaggio iterativo precedente. Ciò può essere evitato se si applica la deformazione plastica aggiuntiva al calcolo dell'equilibrio, come mostrato nell'equazione (11).

$$\Delta\varepsilon_p = \frac{\Phi_w}{1+\Phi_w} \cdot \frac{\Delta\sigma^k_{t_n}}{E} \qquad (11)$$

Gli effetti "compositi": tensioni primarie e secondarie

Nelle strutture composite - tipicamente travi in acciaio con soletta in calcestruzzo - due tipi di materiale vengono combinati nella sezione dell'impalcato. Strati di calcestruzzo di età diversa agiscono come materiali diversi poiché hanno una diversa deformazione viscosa.
La soluzione del problema di viscosità e ritiro diventa più complicata poiché insorgono effetti primari aggiuntivi, come mostrato nelle Figure 5 e 6.
Un materiale viscoso - in questo caso il calcestruzzo - tende a modificare il volume durante il periodo di deformazione. La deformazione viscosa del calcestruzzo è vincolata dall'acciaio e pertanto si genereranno ulteriori sollecitazioni a livello di sezione trasversale anche in sistemi staticamente determinati a livello globale. Nella prima fase, le sollecitazioni primarie sono calcolate a livello di sezione trasversale [5].
La sollecitazione totale nella sezione composita può essere vista come la somma delle sollecitazioni primaria e secondaria [6, 7], dove la parte primaria rappresenta le sollecitazioni dovute alla distribuzione non-lineare della deformazione nel piano della sezione, che sono in equilibrio all'interno della sezione stessa, come mostrato in Figura 6.
L'applicazione della condizione di equilibrio a livello di sezione trasversale ha come conseguenza che il piano di deformazione effettiva è il risultato dei vincoli tra materiali diversi o tra differenti comportamenti di viscosità e ritiro.
L'integrazione di queste deformazioni sulla lunghezza della trave comporta un'inflessione teorica crescente in caso di trave staticamente determinata.

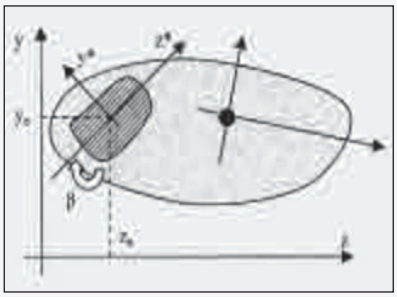


Figura 5 - Ciascuna parte omogenea della sezione deve essere trattata separatamente

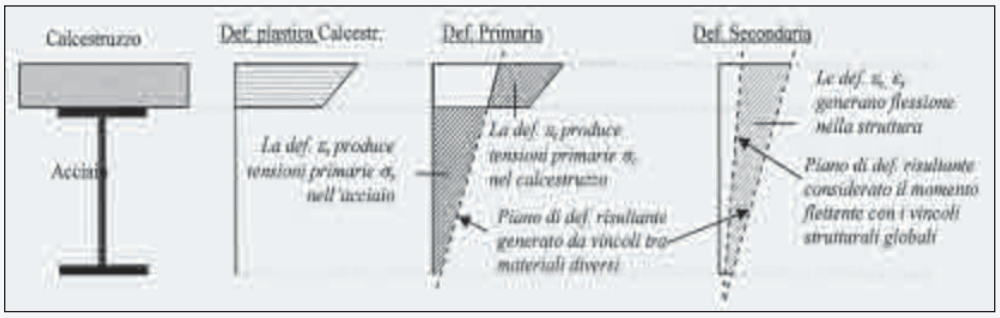


Figura 6 - Le tensioni: fattore di viscosità e di sviluppo delle deformazioni nell'intervallo di tempo t_n-t_{n+1}

Il montaggio della struttura entro vincoli esterni (supporti, vincoli da parte di altre parti strutturali come travi di irrigidimento) induce deformazioni e tensioni aggiuntive nella trave composita.

$$\begin{aligned} \sum N_x &\equiv \int_{(A_c)} \sigma \cdot dA_c + \int_{(A_s)} \sigma \cdot dA_s = 0 \\ \sum M_y &\equiv \int_{(A_c)} \sigma \cdot z \cdot dA_c + \int_{(A_s)} \sigma \cdot z \cdot dA_s = 0 \\ \sum M_z &\equiv \int_{(A_c)} \sigma \cdot y \cdot dA_c + \int_{(A_s)} \sigma \cdot y \cdot dA_s = 0 \end{aligned} \qquad (12)$$

L'equazione (12) mostra le condizioni di equilibrio per le sollecitazioni primarie. Le tre componenti si riferiscono alle deformazioni longitudinali e ai gradienti in direzione Y e Z. La deformazione viscosa generata dal taglio non viene considerata [8]. Sono necessarie le proprietà di rigidezza nel sistema locale per tutte le parti omogenee della sezione trasversale (A, Iy, Iz, β, Ey, Ez). L'equazione (13) mostra i principi del calcolo dello stato primario:

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{n} S_i^T \cdot T_i^T \cdot K_i^{adj} \cdot T_i \cdot S_i \cdot (\varepsilon - \varepsilon_i) = 0 \\ &F_i = K_i \cdot [\varepsilon - \varepsilon_i] \end{aligned} \qquad (13)$$

dove:

$\varepsilon = \{\varepsilon_0 \quad \kappa_y \quad \kappa_z\}^T$ = piano deformazione risultante

$\varepsilon_i = \sum_{l=1}^{n} \varepsilon_l \cdot \phi_l + \varepsilon_{si}$ = deformazione plastica iniziale parte I

$F_i = \{N_x \quad M_y \quad M_z\}_i^T$ = forze primarie parte i

$K_i = E^i \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & Iy & 0 \\ 0 & 0 & Iz \end{bmatrix}_i$ = matrice rigidezza parte i

$K_i^{adj} = (1+\phi_w) \cdot K_i$ = matrice rigidezza aggiustata con l'età

$T_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta_i & \sin\beta_i \\ 0 & -\sin\beta_i & \cos\beta_i \end{bmatrix}_i$ = matrice rotazionale

$S_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ z_e & 1 & 0 \\ -y_e & 0 & 1 \end{bmatrix}_i$ = matrice translazionale

Il "piano di deformazione" risultante ε viene poi applicato alla struttura globale come carico termico. Per le strutture staticamente indeterminate, la risposta della struttura all'applicazione del "piano di deformazione" comporta "effetti secondari" inclusi nell'analisi globale agli elementi finiti della struttura.

L'evoluzione delle tensioni nel tempo

Dal momento che la deformazione viscosa dipende direttamente dall'istante di applicazione del carico e dal corrispondente sistema statico, è necessario memorizzare tutti gli incrementi di tensione durante la vita della struttura, dal tempo zero all'infinito.
Questi dati costituiscono la base per la soluzione dipendente dal tempo. Le difficoltà sorgono per la memorizzazione delle tensioni prodotte direttamente dagli effetti del tempo, poiché rappresentano cambiamenti continui nel tempo, anziché incrementi di tensione.

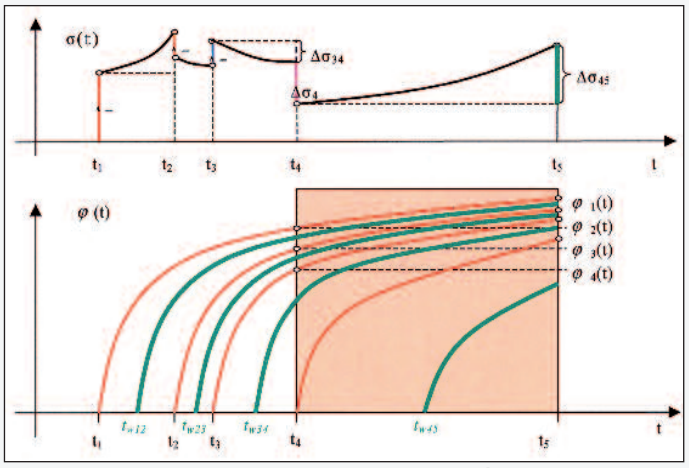


Figura 7 - Le funzioni che rappresentano la viscosità sono diverse per diversi incrementi delle tensioni da carico $\varphi_I(t)$, I = 1,4

Conclusioni

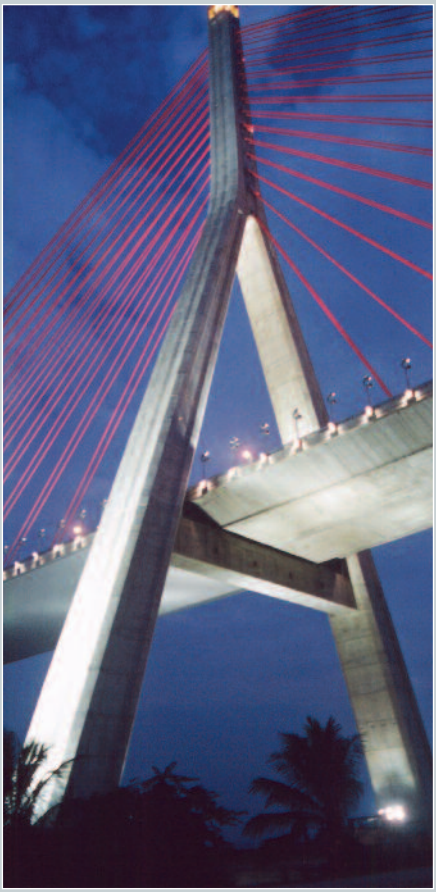
In questo lavoro è stata presentata una nuova implementazione numerica del problema della viscosità nei ponti in materiale composito. La soluzione presentata consente di analizzare gli effetti dipendenti dal tempo in combinazione con altri carichi applicati alla struttura e/o problemi di analisi non-lineare, come effetti del secondo ordine, grandi spostamenti o curvatura dei cavi. Il calcolo dei fattori di deformazione viscosa e ritiro è completamente automatizzato, in accordo con qualsiasi codice di calcolo moderno. L'Ingegnere deve specificare soltanto le proprietà generali del materiale e definire i parametri ambientali globali. Al diminuire dell'ampiezza degli intervalli temporali la soluzione converge verso la soluzione esatta.

RM™ Bridge: PROGETTAZIONE, ANALISI, FABBRICAZIONE E COSTRUZIONE 2D/3D/4D DI PONTI

Gli ingegneri che si occupano della progettazione di ponti necessitano di una soluzione di analisi e progettazione flessibile e unica, che sia in grado di affrontare le complesse sfide tecniche e contemporaneamente risolvere tutte le questioni legate a struttura, materiali, prestazioni e costruzione.

RM Bridge V8i è un prodotto software completo per la progettazione e l'analisi strutturale che, supportando le avanzate conoscenze attuali nella costruzione di ponti, consente di produrre risultati precisi ed affidabili per tutte le tipologie di ponti. Grazie a questo software, è possibile semplificare le operazioni analitiche solitamente laboriose, gestire problematiche tecniche complesse e risparmiare così tempo prezioso.

Utilizzato in tutto il mondo da società di progettazione e consulenza, da enti pubblici di trasporto, da committenti del settore e da consorzi di progettazione, RM Bridge definisce lo standard per la progettazione e la costruzione di ponti "normali" e "speciali". Viene continuamente adottato per i più straordinari progetti e la sua reputazione cresce continuamente, grazie alla capacità di vincere le più complesse sfide tecniche. Gli utenti di RM Bridge possono infatti sviluppare e analizzare modelli di ponti coerenti in un ciclo continuo, aumentando notevolmente l'efficienza di progettazione.



Il sistema garantisce la precisione e l'affidabilità delle informazioni, che vengono riutilizzate, messe a punto e rielaborate ininterrottamente durante tutte le fasi di progettazione e costruzione.

RM Bridge esegue inoltre l'analisi 4D funzione del tempo, con ineguagliabili vantaggi per l'intera durata del processo, dalla progettazione alla costruzione. La capacità di realizzare i modelli di ponti secondo una sequenza temporale offre un'ampia gamma di possibilità di analisi e fornisce risultati realistici per la sequenza costruttiva e il controllo della messa in opera. Inoltre, grazie alle analisi suddivise in fasi temporali, è possibile tenere in considerazione tutti i tipi di non linearità.

L'analisi completa e le procedure di verifica sulla congruità della struttura possono essere eseguite in qualsiasi momento. RM Bridge consente di modificare con facilità i parametri dei modelli e di apportare rapidamente le eventuali modifiche senza dover ricreare nuovi modelli parametrici e analitici. Il sistema analizza poi tutti i risultati di tutte le modifiche nel loro complesso.

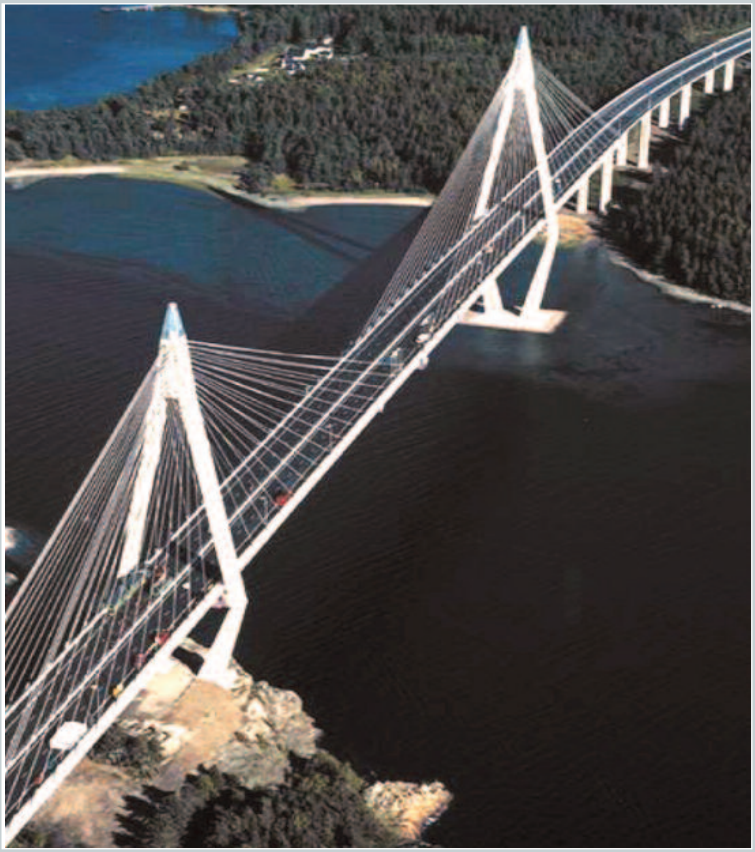
Gli Ingegneri si avvalgono di RM Bridge per risolvere praticamente qualsiasi questione tecnica e si affidano al software per ottenere risultati non soltanto in materia di analisi strutturale. RM Bridge consente loro di usare un approccio maggiormente integrato per la creazione e la costruzione di sistemi di ponti, riducendo inoltre i rischi e permettendo di creare strutture altamente performanti.

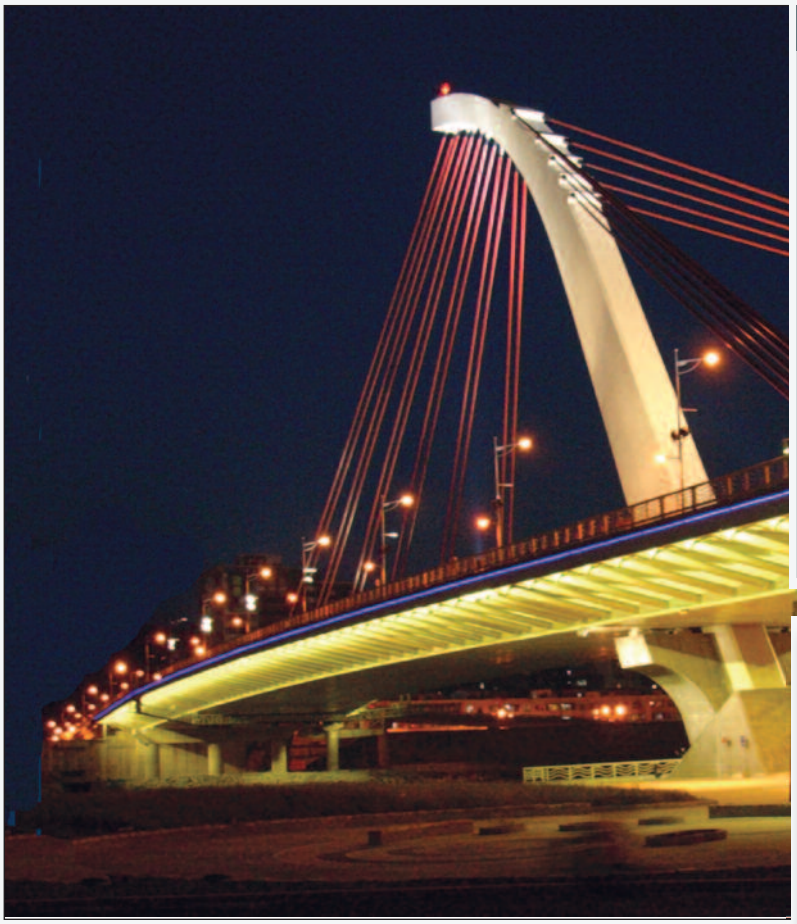
L'integrazione con le applicazioni di Ingegneria Civile, Stradale e Ferroviaria

RM Bridge consente agli utenti di utilizzare un'ampia gamma di informazioni di progettazione (tracciati, profili altimetrici, modelli digitali del terreno (DTM), curve di livello, geometria delle coordinate (COGO) e dati puntuali delle superfici) in DGN, DWG e nei formati comuni di file raster. Allo stesso modo, i modelli di progetto creati in RM Bridge possono essere esportati tramite LandXML per essere utilizzati in una serie di operazioni di post-processing o parallele.

La condivisione dei dati stradali e dei ponti risulta ulteriormente semplificata per gli utenti della piattaforma MicroStation e delle svariate famiglie di software che supporta. RM Bridge condivide i dati con questi sistemi, tra cui InRoads, Geopak, MXRoad e Bentley Rail Track, e supporta gli strumenti comuni di pubblicazione, consentendo agli utenti di esportare file e modelli nei formati PDF di Adobe o Universal 3D (U3D).
RM Bridge è compatibile con MicroStation®, la piattaforma base Bentley per la progettazione, e con ProjectWise®, la piattaforma Bentley per la condivisione delle informazioni tra team di progettazione. Questa integrazione estende la fruibilità dei dati non soltanto all'ambito delle discipline inerenti la realizzazione dei ponti (dalla pianificazione alla costruzione), ma anche all'intero ciclo vita dei ponti stessi.
Eseguendo RM Bridge con ProjectWise e/o ProjectWise® Navigator, è possibile ottenere una sintesi delle informazioni BrIM, condividendo, riutilizzando e riadattando continuamente i dati.
Gli utenti possono usufruire dei molti vantaggi della collaborazione in tempo reale e della gestione semplificata del contenuto tecnico, lavorando in luoghi e fusi orari diversi, tra svariati collaboratori, aziende e committenti. ■

** TDV Technische Datenverarbeitung, Bentley Systems Inc., Graz, Austria*





BIBLIOGRAFIA

[1]. Beuth Verlag, CEB-FIB Model Code, Berlin: 1990,1994.
[2]. O.C. Zienkiewizc, R.L. Taylor - "The finite Element Method", 4th Edition, Vol. 2, McGraw-Hill, 1994.
[3]. S. Blaskowiak - "Einfluss des Kriechens beim Stahl-Vollwand-Verbundträger, erfasst durch n(φ)=Ec/Ebφ", Bautechnik, 1958.
[4]. K.J. Bathe - "Finite Element Procedures", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1976.
[5]. TDV GmbH, RM2006 technical notes, Graz 2006
[6]. K. Sattler - "Theorie der Verbundkonstruktionen", Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1959.
[7]. C. Petersen, Stahlbau - "Auflage", Vieweg-Verlag Braunschweig, 1994.
[8]. Benno Blessenohl, H. Trost - "Zur Berechnung der Umlagerungen und der Relaxation von Spannungen in Betonverbundtragwerken", Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaft , Berlin, 1992.

Per saperne di più sulle soluzioni Bentley, si consulti http://www.bentley.com/it-IT/Solutions/Bridges/.
Attraverso lo stesso sito è possibile iscriversi del tutto gratuitamente al programma di Seminari on line.
Bentley sarà presente a IABSE, 34t° Simposio "Large Structures and Infrastructures for Environmentally Constrained and Urbanised Areas" che si terrà dal 22 al 24 Settembre 2010 a Venezia.