

Pensa il programma ad omogeneizzare il getto in opera alla trave, tenendo conto delle diverse resistenze del calcestruzzo.

Partendo dall'appoggio sinistro è verificata la zona precompressa della trave in una serie di sezioni fino all'appoggio destro, di queste evidenzia la sezione più sollecitata a flessione.

Le **cadute di tensione** sono calcolate nel baricentro dei trefoli contenuti nei 2/3 inferiori di trave.

Il **calcolo a rottura** è eseguito in maniera esatta basandosi sui diagrammi di rottura dei trefoli forniti dal produttore degli stessi.

In ogni sezione sono controllate **le sigma principali di trazione e compressione sul baricentro** e viene espressa la **distanza minima cui devono esser poste le staffe**. E' sempre calcolato, inferiormente e superiormente, l'**acciaio per assorbire le trazioni** come da regolamento.

Il programma effettua anche la verifica delle fasi transitorie: lo **sforno**, il **sollevamento allo sforno**, il **sollevamento/trasporto dopo un periodo di stoccaggio**.

La sezione di appoggio, in assenza di sbalzo, è considerata non precompressa.

È aggiunta una routine di verifica di una singola sezione di trave, col controllo delle tau e delle sigma principali di trazione su tutta l'altezza della sezione. È infine possibile, scelta una particolare armatura, trovarne il diagramma di utilizzo, naturalmente questo calcolo non considera i concentrati.

RELAZIONE

Il risultato appare a video nella cosiddetta "Stampa di servizio" che è suddivisa in tre parti: **verifica in campata, verifica all'appoggio, verifica nelle fasi di movimentazione**.

A video vengono prodotte la tabella con le verifiche agli stati limite di esercizio ed ultimi in varie sezioni lungo la trave, la verifica sull'appoggio più sollecitato e la verifica a trasporto.

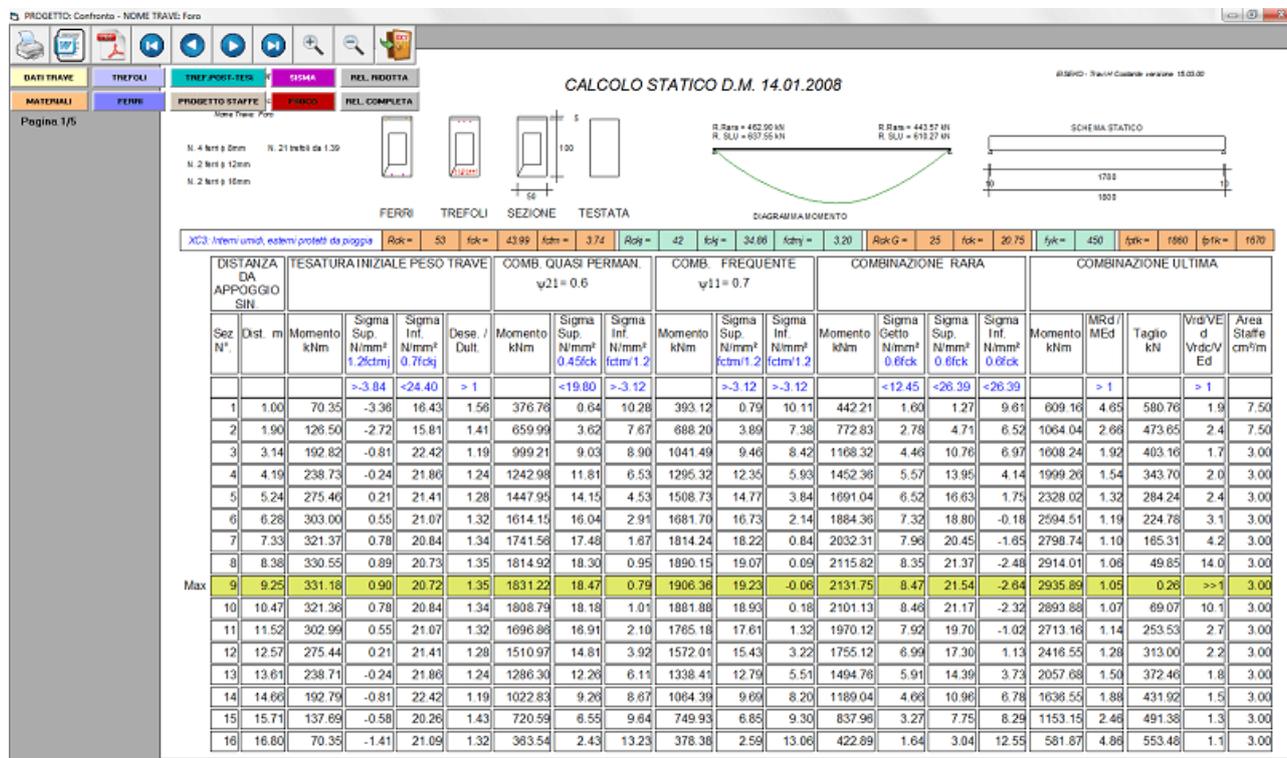
Nelle relazioni e tabelle:

I valori in azzurro indicano le condizioni che il calcolo deve rispettare (es: sigma min, sigma max).

I valori in rosso indicano le verifiche non soddisfatte.

I valori in viola con riquadro indicano i valori delle staffe e dei ferri da inserire.

Indicazione delle Reazioni vincolari Rara e Ultima destre e sinistre.



La verifica viene effettuata in una serie di sezioni disposte a passo costante dal programma a cui vengono aggiunte la prima sezione precompressa, la sezione più sollecitata e l'ultima sezione precompressa.

Nella pagina successiva viene visualizzata la verifica a taglio dell'appoggio più sollecitato.

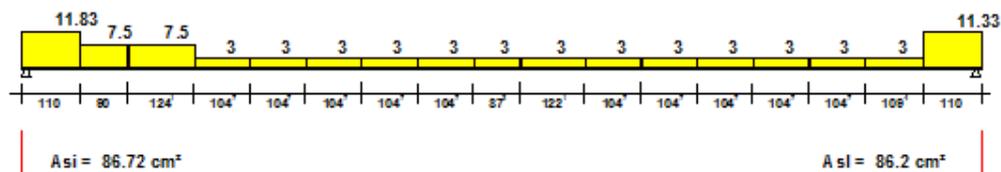
1) VERIFICHE A TAGLIO SEZIONE NON PRECOMPRESSA

Sezione sull'appoggio sinistro

| | | | |
|---|-----------------|--------|----|
| Taglio all'appoggio comb.Rara | Vrara = | 462.90 | kN |
| Taglio di calcolo all'appoggio comb. ultima | VE d = | 637.55 | kN |
| Larghezza resistente a Taglio | bw = | 50.00 | cm |
| Altezza Utile = H trave + H getto - 3cm | d = | 102.00 | cm |
| Angolo puntone compresso calcolato | θ = | 6.5 | ° |
| Angolo puntone compresso usato per il calcolo | θ = | 33.7 | ° |
| Cotg Tzeta ≥ 1 e ≤ 2.5 | Cotg θ = | 1.50 | |
| Angolo asse staffe rispetto asse trave | α = | 90 | ° |

Progetto armatura a taglio e verifiche secondo Capitoli 6.2.2 e 6.2.3 EC2

DIAGRAMMA AREA STAFFE cm²/m



| | | | |
|--|-----------------|---------|--|
| Area staffe = $VEd \cdot s / (z \cdot f_{ywd} \cdot Cotg(Tzeta))$ (6.8 EC2) | Asw = | 11.83 | cm ² /m |
| Acciaio inferiore minimo = $VEd / (f_{yk} / 1.15)$ | Amin = | 16.29 | cm ² |
| Acciaio inferiore = $VEd / (f_{yk} / 1.15) \cdot Cotg(Tzeta)$ | Asl = | 24.44 | cm ² |
| Momento Traslato | MEd = | 438.93 | kNm |
| Acciaio inferiore ancorato necessario | Asa = | 86.72 | cm ² |
| Momento Resistente con Asa | MRd = | 456.84 | kNm |
| MRd \geq MEd VERIFICATO | | | |
| N° Trefoli considerabili (h \leq 10 cm dal basso) | = | 16 | |
| Area Trefoli considerabile (8.10.2.3 fig.8.17 EC2) | Atf = | 9.20 | cm ² |
| Acciaio inferiore necessario = Asa $>$ Asl - Atf | = | 86.72 | cm ² |
| rol = $Asl / (bw \cdot d) \leq 0.02$ (6.2.2 EC2) | ρ_l = | 0.017 | ≤ 0.02 VERIFICATO |
| Verifica Taglio Trazione | | | |
| $z = 0.9 \cdot d$ | | | |
| $f_{ywd} = f_{yk} / 1.15$ | $f_{ywd} =$ | 391.30 | N/mm ² |
| Taglio $VRd,s = Asw \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot cotg(tzeta) / s$ (6.8 EC2) | VRds = | 637.55 | kN \geq VEd - VERIFICATO |
| Area staffe max ammessa (6.12 EC2) | Asw,m = | 78.74 | cm ² /m \geq Asw - VERIFICATO |
| Verifica Taglio Compressione | | | |
| $Vrd,max = (Alfacw \cdot bw \cdot z \cdot ni1 \cdot f_{cd} / (Cot(Tzeta) + Tan(Tzeta)))$ (6.9 EC2) | Vrd,max = | 2610.92 | kN \geq VEd - VERIFICATO |
| dove $Alfacw =$ | $\alpha_{cw} =$ | 1.00 | |
| dove $ni1 = 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$ (6.6N EC2) | $V_1 =$ | 0.49 | |
| Verifica Puntone $Ka \cdot bw \cdot d \cdot ni \cdot f_{cd}$ (6.5 EC2) | = | 2817.86 | kN \geq VEd - VERIFICATO |
| dove $Ka = 0.5 - 0.1552 \cdot (Cotg(Tzeta) - 1) / (2.5 - 1)$ | | 0.448 | |

| | | | | |
|--|------------|-------|-------|-------------------|
| $n_i = 0.6 * (1 - f_{ck}/250)$ | (6.6N EC2) | V = | 0.49 | |
| $f_{cd} = 0.85 * f_{ck} / \gamma_{cC}$ | | fcd = | 24.93 | N/mm ² |

Progetto Staffe emergenti

| | | | | |
|--|--------------------|------------------|--------|-------------------|
| TAGLIO di seconda fase comb. ultima | | VEd2 = | 278.42 | kN |
| $VE_{di} = \text{Beta} * VEd2 / (z * b_i)$ | (6.2.5 (6.24) EC2) | VE di= | 0.14 | N/mm ² |
| dove Beta = Rapporto tra contributo getto e trave | | = | 0.233 | cm |
| dove b _i = larghezza superficie tra trave e getto | | b _i = | 50.00 | cm |
| $VR_{di} = c * f_{ctd}$ (SENZA STAFFE) (6.2.5 (6.25) EC2) | | VR di= | 0.42 | N/mm ² |
| Dove fctd CLS getto in opera | | fctd = | 1.06 | N/mm ² |

Superficie Trave-Getto Scabra c = 0.40
 essendo VR_{di} > VE_{di} senza tener conto di staffe sporgenti

Non c'è bisogno di staffe sporgenti

2) DEFORMABILITA' DELLA TRAVE

Le Freccie sono calcolate nella sezione a m 9.00 dall' estremo sx della Trave

Altezza Trave = 100.00 cm

Freccie provocate dalla storia di carico della Trave :

+ Freccia verso il basso

- Freccia verso l'alto

| | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------------------|
| Luce di calcolo Freccie | = | 17.80 | m |
| Calcestruzzo allo sbanco | Rck' = | 42.00 | N/mm ² |
| E iniziale Teorica | E' = | 34.040 | kN/m m ² |
| Momento inerzia Trave | Ji = | 4077449 | cm ⁴ |
| Freccia per precompressione iniziale | f1 = | -3.170 | cm |
| Freccia per peso proprio trave | f2 = | 0.788 | cm |
| Freccia allo sbanco Totale | f1+f2 = | -2.381 | cm |

FRECCIA Istantanea IN ESERCIZIO

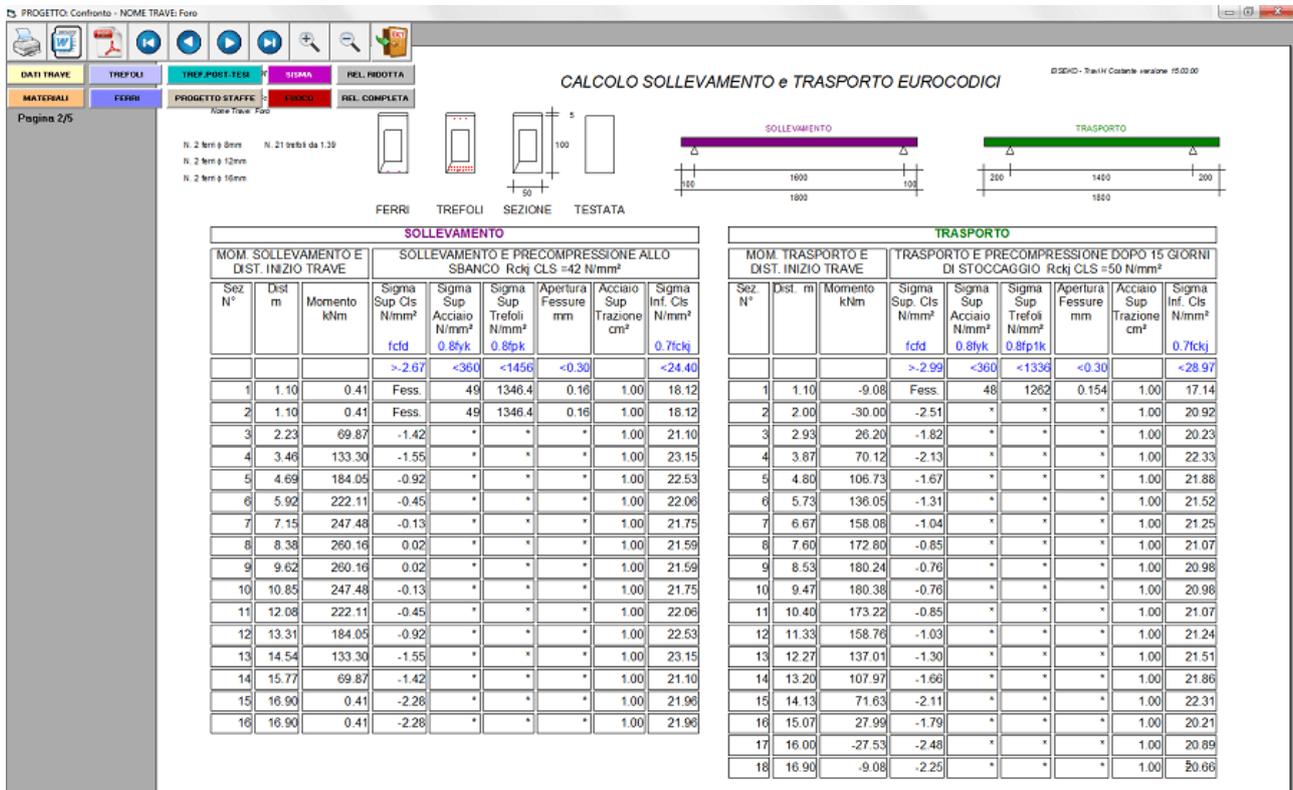
Si considerano agenti tutti i carichi

| | | | |
|---|-------|---------|---------------------|
| Calcestruzzo allo stadio finale | Rck = | 53.00 | N/mm ² |
| E Teorica | = | 36.070 | kN/m m ² |
| Momento inerzia Trave in mezzeria | Jt = | 4064050 | cm ⁴ |
| Momento inerzia Trave + getto in mezzeria | Jg = | 4608438 | cm ⁴ |
| Freccia per precompressione | f3 = | -3.001 | cm |
| Freccia istantanea dovuta a tutti i carichi permanenti | f4 = | 2.893 | cm |
| Freccia istantanea carichi permanenti pien. definiti fp=f3+f4 | fp = | -0.108 | cm |
| Freccia totale istantanea per tutti i carichi | ft = | 1.498 | cm |

FRECCIA IN ESERCIZIO A LUNGO TERMINE

Si considera la combinazione di carico quasi permanente

| | | | |
|--|----------|---------|-----------------------------|
| Fi(t,to) = Coeff. di Viscosità a tempo inf. | | 2.857 | |
| L'acciaio è omogeneizzato: E acciaio / E efficace | | | |
| E efficace = (E Teorica / (1 + Fi(t,to)))-(7.4.3 (7.20) EC2) | | 9.351 | kN/m m ² |
| e quindi Coefficiente di omog. E acciaio / E efficace | | 22.457 | |
| Momento inerzia Trave in mezzeria | Jf = | 5068913 | cm ⁴ |
| Momento inerzia Trave + getto in mezzeria | Jfg = | 5779108 | cm ⁴ |
| Freccia per precompressione finale | f1 = | -8.333 | cm |
| Freccia a lungo term. per carichi comb. quas i perm. di seconda fase | fd = | 12.081 | cm |
| Freccia totale a lungo term. in comb quas i permanente fdt = f1+fd | fdt = | 3.748 | cm |
| Luce di calcolo Freccie / 250 | Lc/250 = | 7.120 | cm |
| Freccia a lungo term. totale | fdt = | 3.748 | cm <= Luce/250 - VERIFICATO |



Nel sollevamento e trasporto le verifiche sono fatte in una serie di sezioni precomprese a partire dalla testata sinistra.

Le verifiche sono effettuate secondo l'EC2 per quanto consentito dal DM 14/01/08.

GRAFICO DELLE AREE MINIME NECESSARIE LUNGO TUTTA LA TRAVE

VERIFICA IN PRECOMPRESSIONE PARZIALE

Il programma passa al calcolo in precompressione parziale se nel corso delle verifiche le tensioni all'intradosso della sezione superano il limite a trazione valido per il calcolo a sezione interamente reagente ($f_{ctm}/1.20$).

Il calcestruzzo non viene più considerato reagente a trazione così come si fa nel calcolo delle travi in calcestruzzo non precompresso, la trave viene sollecitata con il momento di esercizio agente contemporaneamente con lo sforzo dovuto alla precompressione.

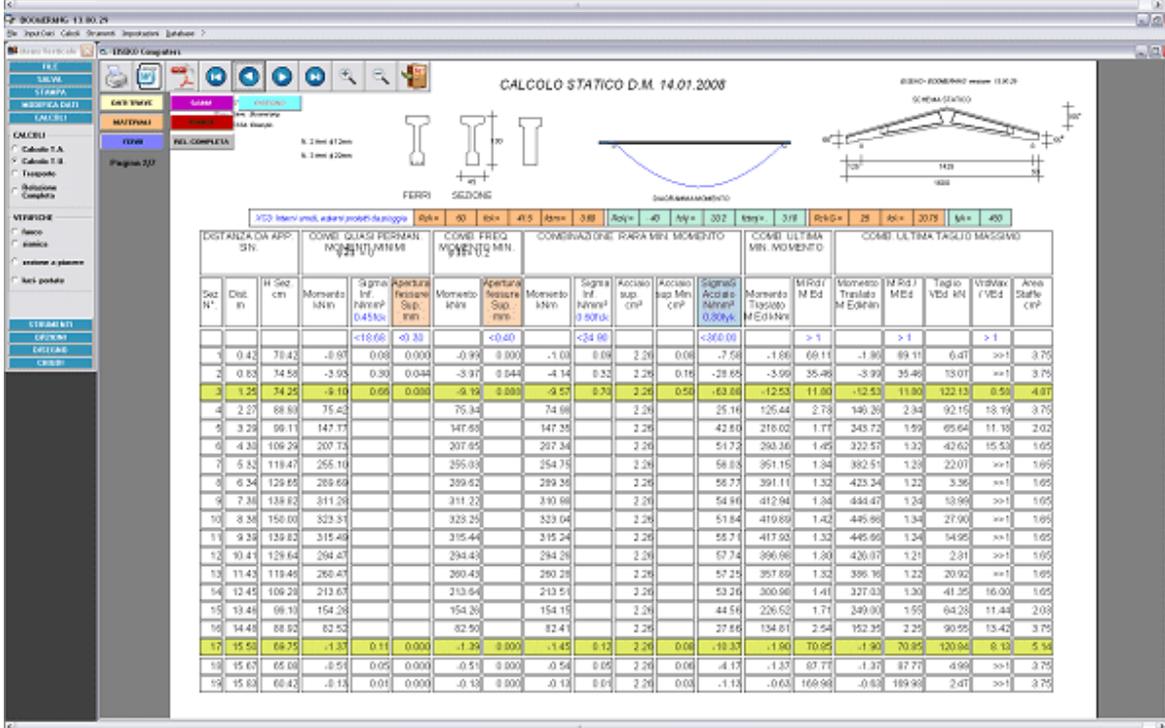
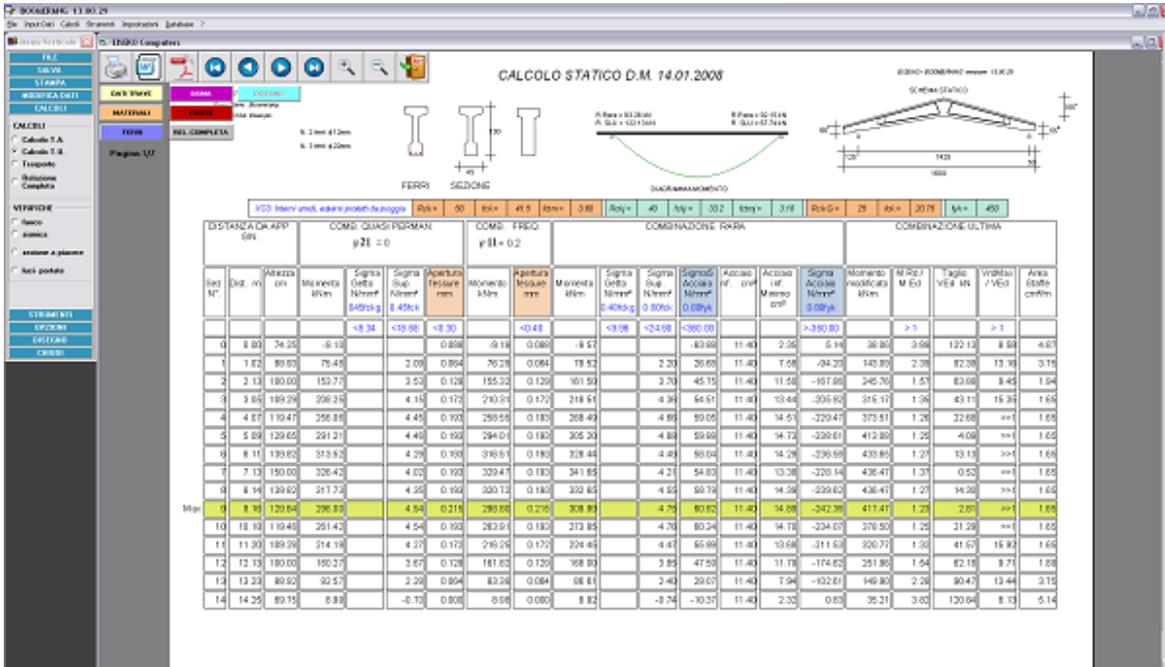
Quando la sigma massima a trazione della sezione supera la sigma limite a trazione del calcestruzzo, si ha il trasferimento immediato di tutta la trazione dalla zona tesa della sezione in calcestruzzo alle armature, con la conseguente apertura delle fessure. Per limitare la dimensione delle fessure e l'incremento di tiro sui trefoli, il programma aggiunge ferro lento (l'utente è avvisato con un messaggio a video) ponendo un ferro $\phi 12$ per ognuna delle posizioni possibili che si trovano nella fila più bassa della maschera ferri: nell'esempio il programma ha a disposizione due posizioni nella fila più bassa e quindi inserisce due ferri $\phi 12$ per un'area complessiva di 2.26 cm².

Non si tratta di un'armatura "da normativa", ma solo di una proposta di soluzione del problema partendo da un minimo di armatura inferiore.

VERIFICA CON SBALZI

Se la trave è dotata di sbalzi significativi, cioè aventi dimensioni superiori alla lunghezza di diffusione della precompressione, che in genere è circa un metro (vedi anche paragrafo "Sistema di calcolo"), il programma, alla verifica in esercizio di cui al paragrafo "Calcoli", aggiunge la verifica con le combinazioni di carichi che danno le sollecitazioni massime sugli sbalzi e minime fra gli appoggi.

La principale differenza rispetto alla tabella di cui al paragrafo "Calcoli", che è calcolata con i carichi minimi sugli sbalzi e massimi in campata, è che in questo caso sono riportate le verifiche anche su alcune sezioni precomprese sugli sbalzi.



PROGETTO DELLE STAFFE A TAGLIO + TORSIONE E FERRI ALL'APPOGGIO

E' possibile eseguire il progetto delle staffe della trave calcolata.

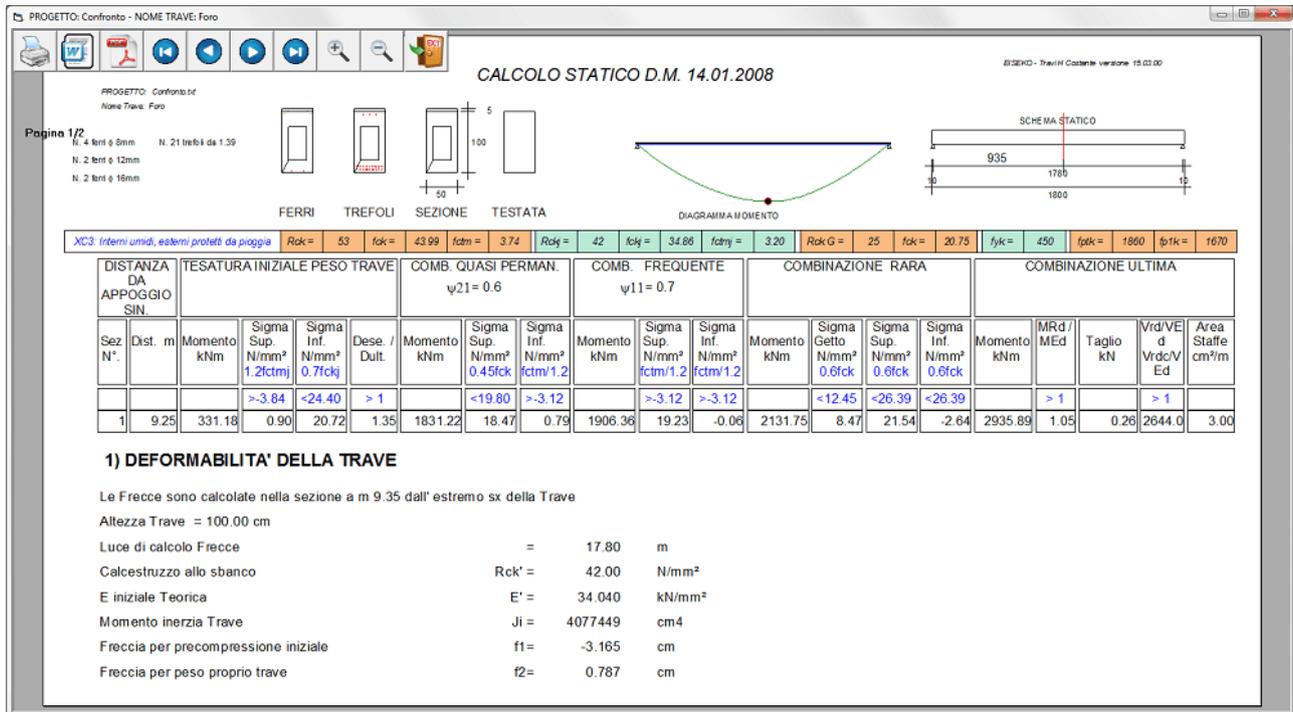
Nella relazione e nella tabella di calcolo vengono visualizzate le staffe necessarie lungo tutta la trave, con un grafico giallo rappresentante l'area di staffe minima necessaria calcolata dal programma (l'ultima colonna delle tabelle di servizio). L'utente può inserire le staffe effettive della trave, modificandole dinamicamente con questo comodo ambiente grafico, finché non sono verificate come nell'immagine seguente:



Più tipologie di staffe (staffe doppie): Per avere due tipologie disponibili per ogni campo.

VERIFICA ESERCIZIO SEZIONE A PIACERE

È possibile eseguire il calcolo di una sezione singola a scelta dell'utente, purché precompressa, e vedere la relativa tabella dei risultati.



Verifiche a Taglio nella sezione sull'appoggio, secondo il metodo del "Puntone variabile"

Secondo il metodo del puntone variabile, l'utente, come previsto dall'Eurocodice 2, ha la possibilità di scegliere per le verifiche a Taglio diversi angoli del Puntone compresso compresi tra 45° e 21°.80.

Alcuni valori già fissati per comodità, possono essere scelti direttamente dall'utente come valori da usare nel calcolo (45°, 33°.69, 26°.57, 21°.80), in alternativa si può inserire l'angolo desiderato ed infine si può optare per il calcolo automatico dell'angolo da parte del programma (J=variabile calcolato) in cui il valore dell'angolo è tale da avere contemporaneamente la rottura del calcestruzzo e dell'acciaio.

Quando si sceglie l'opzione del calcolo automatico dell'angolo, il programma, come da norma, confronta il valore calcolato con i limiti minimo di 21°.80 e massimo di 45°: se il valore calcolato dovesse essere inferiore al minimo allora verrebbe posto uguale a 21°.80, se invece dovesse essere superiore al massimo in questo caso verrebbe posto uguale a 45°.

La configurazione riportata sopra è quella di default, dove le formulazioni del Testo Unico e dell'Eurocodice 2 sono equivalenti tra loro nel caso in cui $J = 45^\circ$ e a meno del coefficiente n dell'Eurocodice 2.

E' possibile anche scegliere $n=n_1$, previsto in Eurocodice 2, in cui viene sovrastimata la resistenza del calcestruzzo di un 20% e contemporaneamente diminuita la resistenza dell'acciaio di un altro

20% ($f_{ywd}=0.8*f_{yk}/1.15$). Potrebbe essere utile nel caso in cui sia il calcestruzzo ad andare in crisi e non si possa variare la sezione o i materiali.

VERIFICA LOCALE

Verifica di carico su un dente sporgente Inserisco i dati geometrici del dente e il carico su di esso (su uno dei due lati) con la larghezza della sua impronta. Il programma tiene conto della diffusione del carico e fa vedere anche a video la staffatura necessaria.

Verifica dente e sospensione Se il dente è sul lato inferiore della trave (come accade nella larga maggioranza dei casi) associato all'azione del carico sul dente c'è un effetto di sospensione, quindi oltre alla spunta su "DENTE" bisogna aggiungere la spunta su "SOSPENSIONE". Il programma inserisce automaticamente un carico doppio di quello sul dente, poiché la sospensione è vista dal programma come agente su entrambi i lati dell'anima della trave. La diffusione del carico è quella calcolata per il dente. La staffatura di sospensione è confrontata con quella necessaria dal calcolo della trave e il programma stampa la maggiore delle due.

Verifica sospensione soltanto È necessaria nel caso di carico direttamente appeso all'anima della trave. Inserisco solo i valori del carico sospeso e della sua impronta, in questo caso il programma non deve calcolare la diffusione del carico. La staffatura di sospensione è confrontata con quella necessaria dal calcolo della trave e il programma stampa la maggiore delle due.