

# L'AMMODERNAMENTO DELLA E78 GROSSETO-FANO

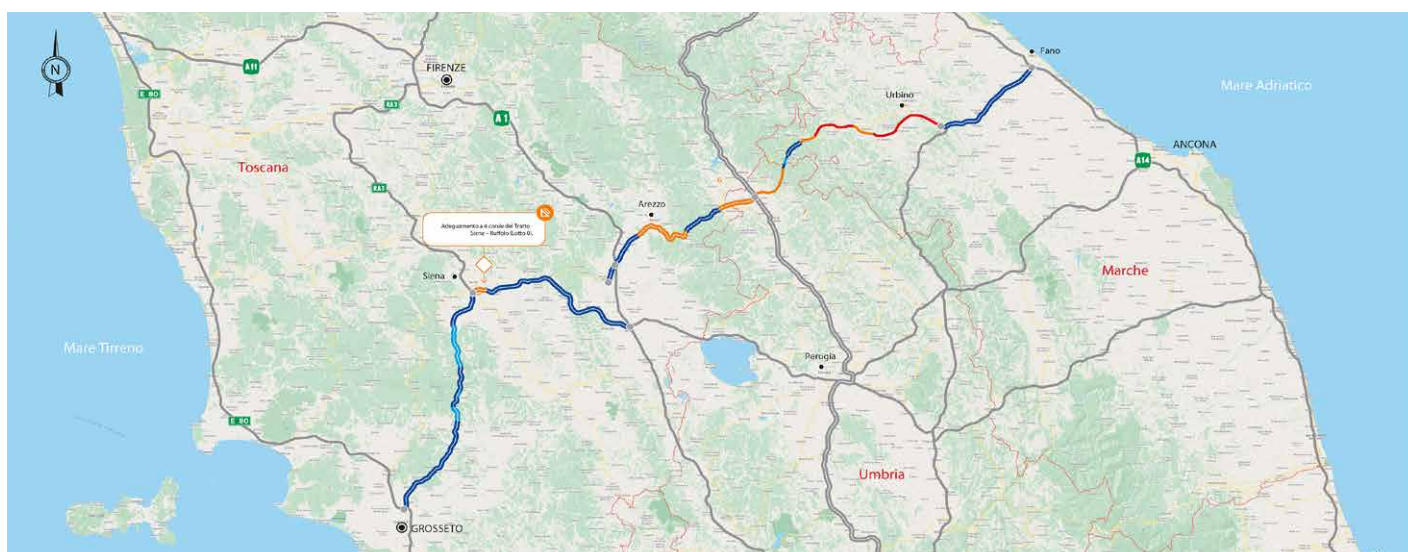
## RADDOPPIO DELLA TANGENZIALE SUD DI SIENA E REALIZZAZIONE DEL NUOVO VIADOTTO LUGLIE PER POTENZIARE LA VIABILITÀ DELLA E78

**N**ell'ambito del progetto di potenziamento della dorsale stradale E78 Grosseto-Fano, arteria cruciale tra la costa tirrenica e l'Adriatico, Sinergo Spa è impegnata nel raddoppio della carreggiata della Tangenziale Sud di Siena. Uno degli interventi chiave riguarda lo sviluppo del calcolo di verifica e il dimensionamento delle strutture del nuovo "Viadotto Luglie," da realizzarsi tra il km 2+400 e il km 2+600. Questo viadotto fa parte del progetto di raddoppio della carreggiata nel cosiddetto "Lotto 0" e sostituirà l'attuale struttura esistente. Verranno realizzati due nuovi viadotti, uno per la direzione Firenze e uno per la direzione Grosseto. In particolare, il viadotto per la carreggiata direzione Grosseto si sovrapporrà parzialmente

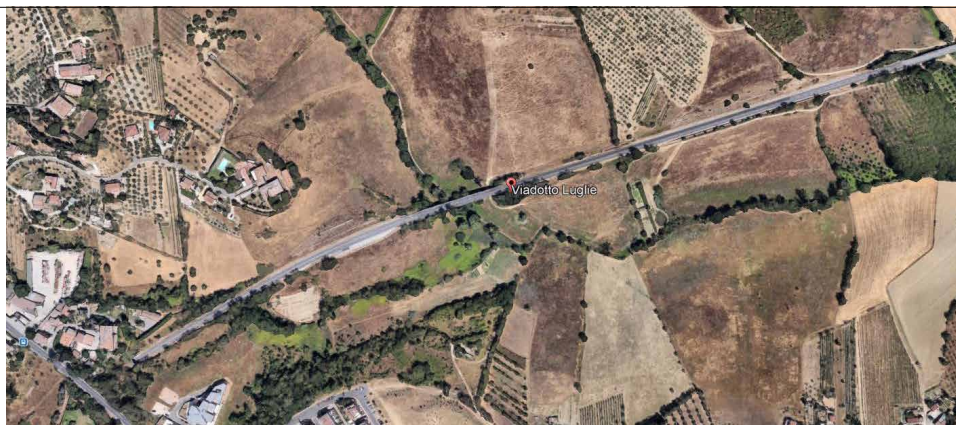
all'attuale sedime. Questo intervento mira a migliorare la sicurezza e la capacità di traffico in uno dei tratti più strategici della viabilità toscana.

### VIADOTTO LUGLIE: CARATTERISTICHE STRUTTURALI

Il ponte di progetto, "Viadotto Luglie" è lungo complessivamente 120 m, suddiviso in tre campate (35, 50 e 35 m), sostenute da pile intermedie e spalle di estremità. La struttura portante principale è un impalcato a travata continua, composto da due travi metalliche prefabbricate e assemblate in opera mediante saldatura di testa. Le travi sono inclinate per conferire una maggiore rigidità torsionale alla sezione, che è un vero e proprio



1. Itinerario E78 Grosseto-Fano



2. Coordinate del sito "Viadotto Luglie"

cassone torsio-rigido. Sopra le travi è presente una soletta in calcestruzzo, mentre la parte inferiore della struttura è rinforzata con una controventatura reticolare. La sezione del ponte è di tipo misto acciaio-calcestruzzo, dove la soletta, larga 11,25 m, è stata gettata in opera con l'ausilio di predalle prefabbricate in calcestruzzo. La soletta stessa è sostenuta da un elemento centrale detto rompi-tratta, che distribuisce i carichi sui traversi, i quali, eccetto quelli situati presso le pile e le spalle, sono di tipo reticolare per garantire leggerezza e resistenza.

A livello estetico, l'infrastruttura presenta velette in lamiera, fissate all'intradosso degli sbalzi, che mascherano le tubazioni di scarico delle acque piovane e, al tempo stesso, garantiscono un facile accesso per la manutenzione grazie alla loro struttura rimovibile.

### STRUMENTI DI CALCOLO E VERIFICA PROGETTUALE

Per garantire l'accuratezza e la sicurezza del progetto, i calcoli strutturali sono stati effettuati utilizzando software avanzati, regolarmente licenziati e sottoposti a test periodici. Questi controlli servono a verificare la correttezza delle applicazioni e dei risultati, individuando eventuali anomalie o discrepanze.

In particolare, per l'analisi strutturale dell'impalcato e delle sottostrutture, è stato impiegato Midas Civil, versione 2018, un programma di calcolo ad elementi finiti. Questo software, sviluppato da Midas Information Technology Co., Ltd., è in grado di gestire analisi sia lineari che non lineari, sia statiche che dinamiche, e risulta particolarmente efficace per progetti complessi come ponti e viadotti. Grazie alla sua vasta gamma di elementi finiti, consente di simulare con precisione le sollecitazioni derivanti dai carichi mobili tipici degli impalcato da ponte.

Per l'analisi delle sollecitazioni sugli elementi strutturali e le verifiche di resistenza, è stato utilizzato Midas Gen 2019, versione 2.1. Questo software, sviluppato in Corea del Sud e distribuito in Italia da CSPFEA ([www.cspfea.net](http://www.cspfea.net)), si distingue per la sua capacità di eseguire verifiche dettagliate delle prestazioni e della resistenza delle strutture, fornendo un supporto fondamentale per le fasi di progettazione e controllo.

### Combinazioni di carico e fasi di calcolo

L'impalcato del ponte è composto da un cassone metallico e da una soletta in calcestruzzo, connessi tramite pioli con testa. Data la natura mista della struttura, le sollecitazioni non possono essere semplicemente sommate, poiché agiscono su sezioni diverse (solo acciaio o sezione mista) e la rigidezza della trave varia in base al tipo di carico.

Il calcolo della struttura mista acciaio-calcestruzzo utilizza un criterio di omogeneizzazione che riduce le proprietà della soletta di calcestruzzo, trattandola come acciaio, con un coefficiente ( $n$ ) che dipende dalla durata dei carichi:  $n(t=0)$  per carichi brevi e  $n(t=\infty)$  per carichi permanenti. Sono utilizzate tre configurazioni statiche-inerziali:

1. sezione solo acciaio per i carichi iniziali;
2. sezione mista per carichi permanenti, come pavimentazione e ritiro del calcestruzzo;
3. sezione mista per carichi brevi, come traffico e variazioni di temperatura.

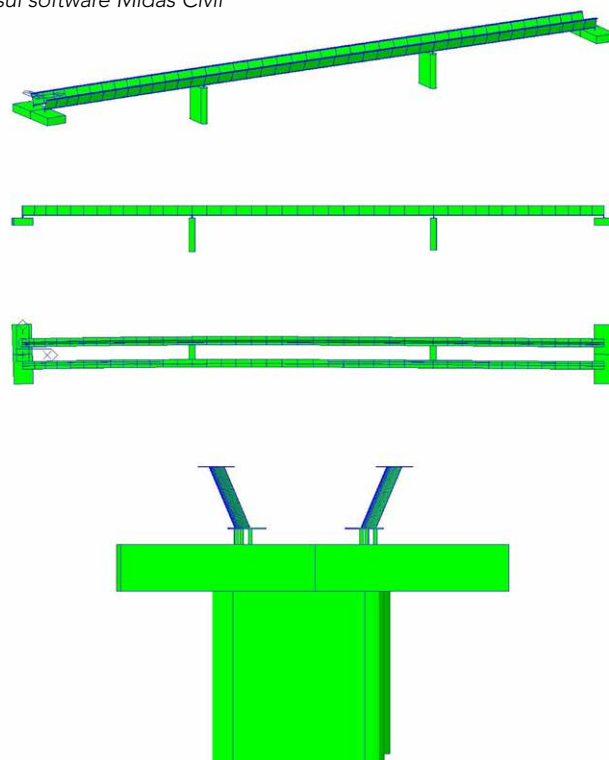
Le fasi di carico sono così organizzate:

- fase 1 - sezione solo acciaio per il peso proprio e quello della soletta;
- fase 2 - sezione mista per carichi permanenti e ritiro;
- fase 3 - sezione mista per carichi brevi, traffico e variazioni di temperatura.

### MODELLAZIONI FEM E ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Per analizzare le sollecitazioni sull'impalcato e le sottostrutture, è stato utilizzato un modello agli elementi finiti (FEM) realizzato con il software Midas Civil. L'impalcato è stato trattato come una trave a cassone con adeguata rigidezza torsionale, e il modello

3. Modello utilizzato implementato sul software Midas Civil



riflette la reale configurazione planimetrica in leggera curva. Il ponte è stato suddiviso nei suoi 11 conchi, rappresentati con elementi beam che replicano le caratteristiche di rigidità della struttura. Anche gli appoggi sono stati modellati come elementi beam, con i giusti vincoli di rotazione e traslazione per simulare accuratamente lo schema statico del ponte.

Sono state utilizzate tre versioni del modello per rappresentare le diverse fasi di carico:

1. un modello per le sollecitazioni della sola sezione in acciaio;
2. un modello per carichi di lunga durata sulla sezione mista acciaio-calcestruzzo;
3. un modello per carichi brevi sulla sezione mista.

Il software permette inoltre di simulare i carichi mobili sul ponte, massimizzando le sollecitazioni in base alla linea d'influenza. Per valutare le deformazioni reali, sono stati inseriti nodi nei punti chiave della struttura, collegati con link rigidi all'impalcato.

### MODELLO LOCALE PER SOLETTA E ROMPI-TRATTA

È stato anche sviluppato un modello locale per analizzare la soletta in calcestruzzo armato e il rompi-tratta. La soletta è stata modellata con elementi plate a 4 nodi, che replicano lo spessore e il modulo elastico reali. Il rompi-tratta e i traversi sono stati invece modellati con elementi beam, connessi alla soletta tramite truss rigidi per garantire un corretto comportamento strutturale. Per simulare al meglio il comportamento sotto carico, si è utilizzata la funzionalità di carichi mobili continui sulla soletta, valutando così le sollecitazioni nelle condizioni più gravose.

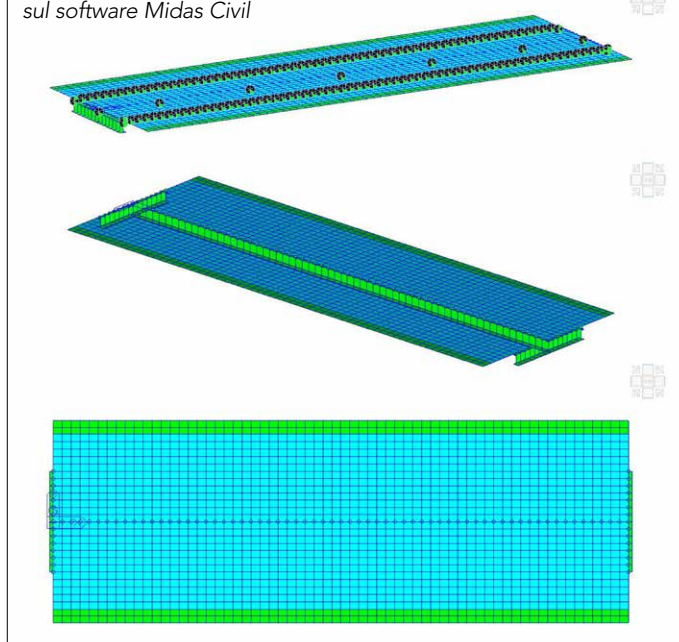
### VERIFICHE STRUTTURALI E DI SICUREZZA

Per garantire la sicurezza e la fruibilità del viadotto in ogni fase di esercizio, sono state effettuate tutte le verifiche previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Di seguito si riportano le principali verifiche eseguite sugli impalcato in struttura mista e sulle travi principali, con particolare attenzione ai carichi accidentali, alla fatica, e alla resistenza delle sezioni strutturali.

- **Sollecitazioni sull'impalcato**
  - Peso proprio acciaio e soletta (G1+G2)
  - Permanenti portati (G3)
  - Ritiro – componente iperstatica (Rit)
  - Gradiente termico – componente iperstatica (DT)
  - Accidentali mobili (disposizione 1)
  - Accidentali mobili (disposizione 2)
  - Accidentali mobili (Fatica)
- **Verifiche per impalcato in struttura mista**
  - Verifiche SLU – Resistenza delle sezioni
  - Verifiche SLE – Limitazione delle tensioni
  - Verifiche SLE – Web Breathing
  - Verifiche SLU e SLE – Verifica connessioni trave-soletta
  - Verifiche SLF – Verifiche a fatica
- **Verifiche di resistenza sulle travi principali**
  - Verifiche SLU
  - SLE caratteristica
  - SLE frequente – Web Breathing – Rapporto di sfruttamento dei pioli
  - Verifiche a fatica
  - Saldature di composizione

4. Modello utilizzato per soletta e rompi-tratta sul software Midas Civil

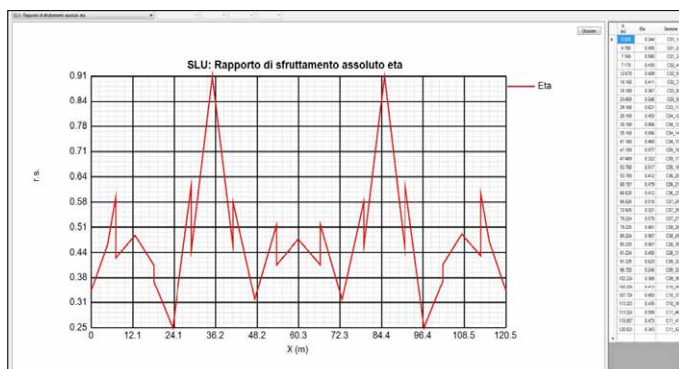


### PRINCIPALI VERIFICHE STRUTTURALI

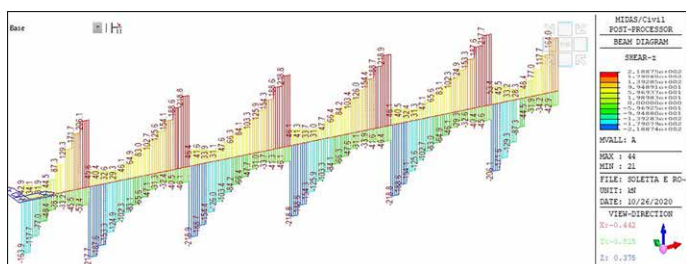
Una delle verifiche strutturali riguarda la resistenza delle travi principali (Verifica SLU), come mostrato in figura 5. In questa rappresentazione, il Rapporto di Sfruttamento Assoluto è riportato con l'asse X che rappresenta lo sviluppo longitudinale del ponte, mentre l'asse Y mostra il rapporto tra l'azione sollecitante e quella resistente. Il valore del rapporto rimane costantemente inferiore a 1, indicando che la resistenza delle travi principali è adeguata e la verifica risulta soddisfatta.

Nella figura 6, allo stesso modo, viene mostrato l'output del programma di calcolo per il taglio delle travi principali, in relazione ai carichi accidentali mobili. Il grafico evidenzia la distribuzione delle sollecitazioni da taglio lungo l'impalcato, confermando che i valori sono sempre sotto i limiti di sicurezza definiti dalla normativa.

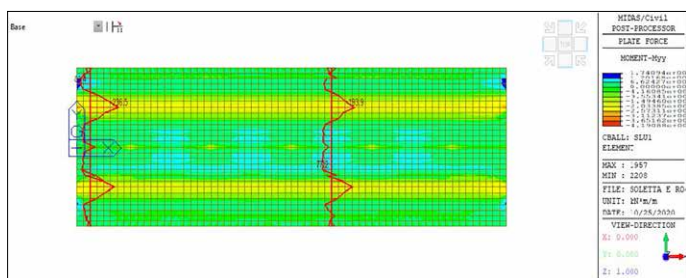
Per identificare le sollecitazioni flettenti sulla soletta dell'impalcato, è stato utilizzato il modello locale descritto precedentemente, lo stesso impiegato per il rompi-tratta. Le verifiche trasversali sono state condotte sull'intero spessore della soletta, considerando la collaborazione delle predelle e la capacità delle staffe dei tralici di trasmettere il taglio.



5. Diagramma figurativo di rapporto sfruttamento assoluto travi principali



6. Output del programma di calcolo su taglio per carichi accidentali mobili



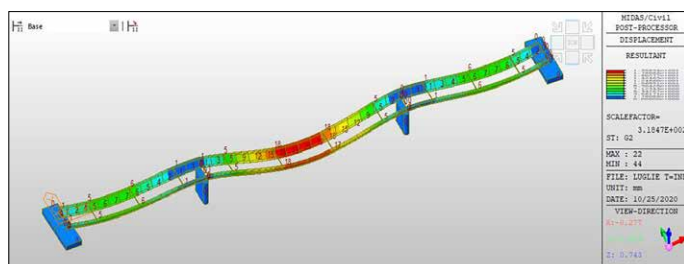
7. Verifiche SLU min-max per la soletta nel programma di calcolo

Per le sollecitazioni longitudinali, data la mancanza di continuità tra le predelle, è stato considerato solo lo spessore del getto in opera. Nel calcolo, il peso proprio è stato ridistribuito sulla sezione trasversale definitiva.

I carichi permanenti e accidentali sono stati applicati sul modello, con i carichi mobili simulati in continuo per ottenere l'inviluppo delle sollecitazioni. I contour grafici e i diagrammi di momento ribaltati sono stati utilizzati per verificare le sollecitazioni nelle zone a spessore 25 cm.

### DEFORMAZIONI E VALUTAZIONE DELLA CONTRO-MONTA

La contro-monta viene applicata alla carpenteria metallica per bilanciare le deformazioni dovute ai pesi propri e ai carichi permanenti. Per determinare la monta da attribuire alle travi, si confrontano le seguenti deformazioni minime:



8. Deformate principali per peso proprio e per sovraccarichi permanenti

- peso proprio strutture + carichi permanenti + 25% della deformazione per carichi accidentali;
- (peso proprio strutture + carichi permanenti) × 1,1.

Nelle figure seguenti sono illustrate le deformazioni principali per peso proprio e sovraccarichi permanenti.

### CONCLUSIONI

il progetto di raddoppio della carreggiata della Tangenziale Sud di Siena, inserito nell'ambito dell'ammodernamento e potenziamento della dorsale E78 Grosseto-Fano, rappresenta un intervento fondamentale per migliorare la viabilità tra la costa tirrenica e l'Adriatico. Le verifiche strutturali sono state completate e, con il supporto di modelli avanzati, sono stati garantiti i requisiti di sicurezza e funzionalità. Il passo successivo è la redazione del progetto esecutivo, che segnerà l'avvio delle fasi realizzative, contribuendo a rispondere alle crescenti esigenze di mobilità e sviluppo del territorio.

- (1) Amministratore Delegato – Sinergo SpA
- (2) Responsabile settore Strutture – Sinergo SpA
- (3) Settore Infrastrutture – Sinergo SpA

### DATI TECNICI

Stazione Appaltante: Anas SpA  
 Progetto definitivo: Sinergo SpA

9. Sezione tipo dell'impalcato

