

1222·2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ICEA**



Giornata di Studio

Lo stato della ricerca sulla valutazione del rischio e la verifica della sicurezza  
dei ponti e dei viadotti

Giovedì, 2 settembre 2021

# L'ISPEZIONE DEGLI ELEMENTI CRITICI: LE SELLE GERBER

**Prof. Carlo Pellegrino**

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale ICEA, Università degli Studi di Padova*

*Consorzio Fabre*

Introduzione:

- Inquadramento generale del problema;
- Definizione della sella Gerber come elemento critico (Linee Guida);
- Descrizione del funzionamento statico dei ponti con selle Gerber;
- Degrado delle selle Gerber;
- Ispezione delle selle Gerber;
- Prelievo di campioni di materiale e rappresentatività delle prove;
- Ricostruzione della effettiva geometria dell'armatura presente;
- Metodi di controllo dell'effettiva funzionalità degli appoggi nelle selle Gerber;
- Metodi di valutazione del contributo della precompressione con testate di ancoraggio nella sella Gerber;
- Metodi di verifica e modelli analitici/numerici.

Inquadramento generale del problema:

I ponti a travata Gerber sono una tipologia che ha trovato grande applicazione a partire dagli anni '60.

Le selle Gerber hanno evidenziato le varie criticità tra cui:

- Rotture fragili per taglio;
- Localizzazione del degrado (infiltrazioni e ristagno d'acqua);
- Difficoltà da ispezione;
- Scarsità di specifiche norme, linee guida e raccomandazioni;
- Aggiornamento delle normative e delle sollecitazioni di progetto.

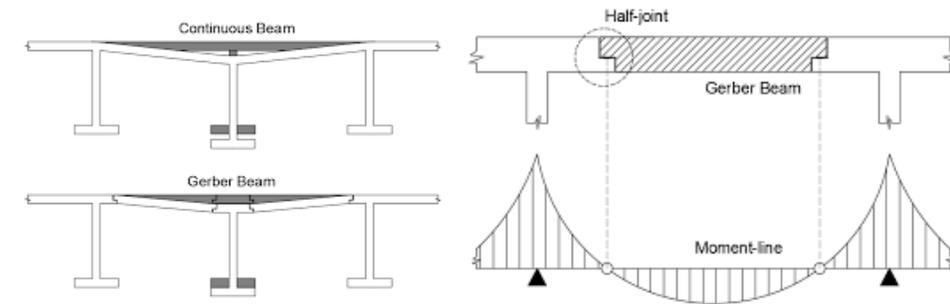
Con l'obiettivo di approfondire gli aspetti legati alla valutazione, al monitoraggio e alle ispezioni delle selle Gerber e dei ponti a cavi post-tesi è nato il **Tavolo Tecnico Ponti c.a.p. a cavi post-tesi e Ponti con selle Gerber** a cui partecipano MIMS, Università e Concessionarie.



Definizione della sella Gerber come elemento critico (Linee Guida):

Secondo le «**Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti**» al punto 3.3 le selle Gerber sono classificate come **elementi critici**, poiché:

- elemento particolarmente soggetto a fenomeni di degrado da agenti atmosferici;
- il cedimento comporta una variazione del comportamento strutturale globale del ponte;
- il cedimento è di tipo fragile.

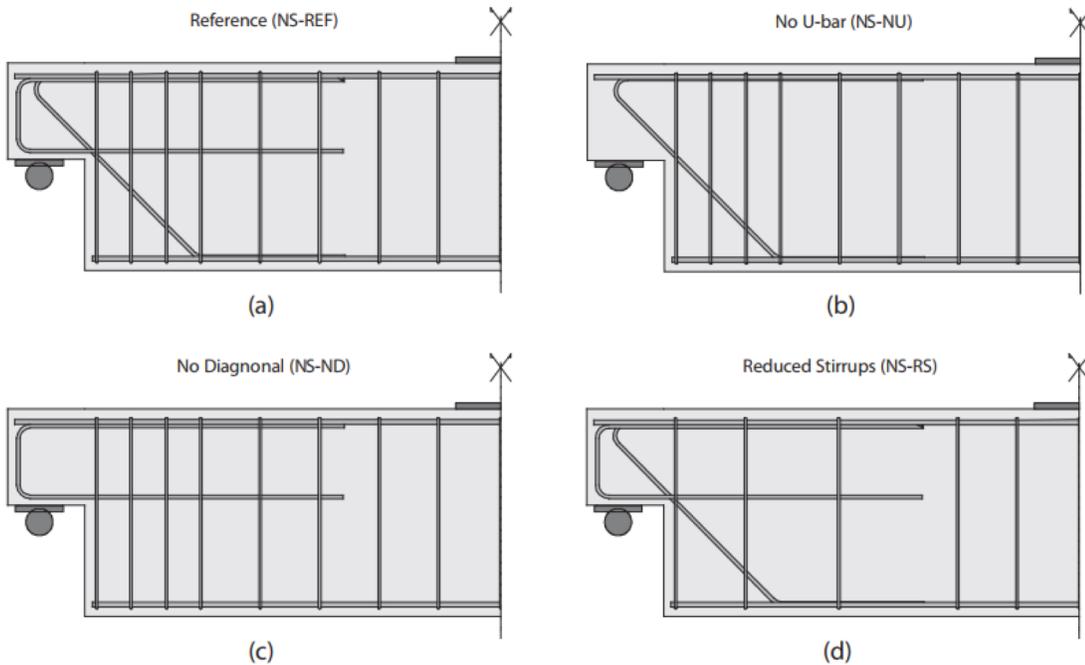


*Schema statico risultante dall'adozione della trave Gerber*

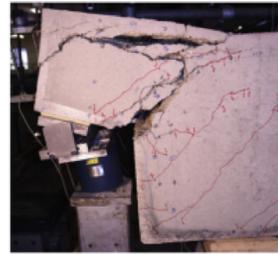
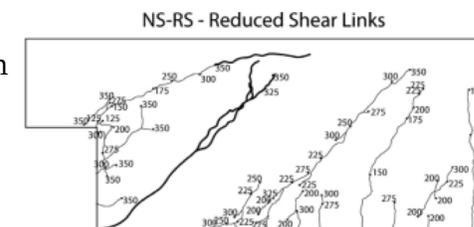
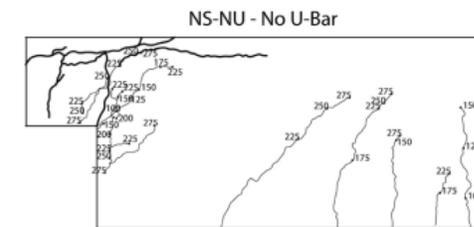
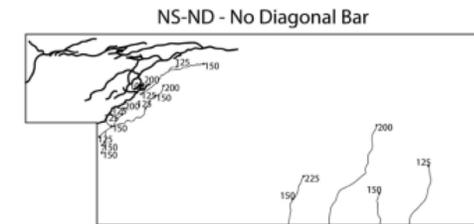
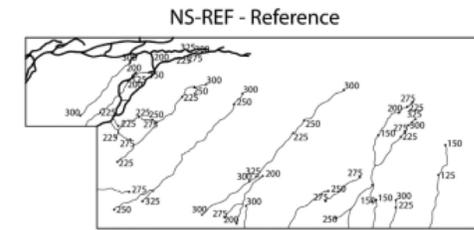
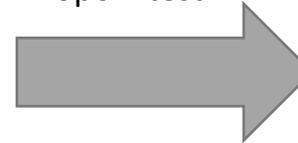
*Degrado delle selle Gerber, esposizione agli agenti atmosferici: ristagno d'acqua, aggressione da cloruri ecc..*

## Distribuzione delle armature nelle selle Gerber

- Esistono svariati tipi di layout di armature, che quindi portano ad avere diversi comportamenti del giunto. Tale caratteristica non è da sottovalutare perché influenza enormemente la posizione dello sviluppo della fessura critica che causa la rottura.



Dopo il test



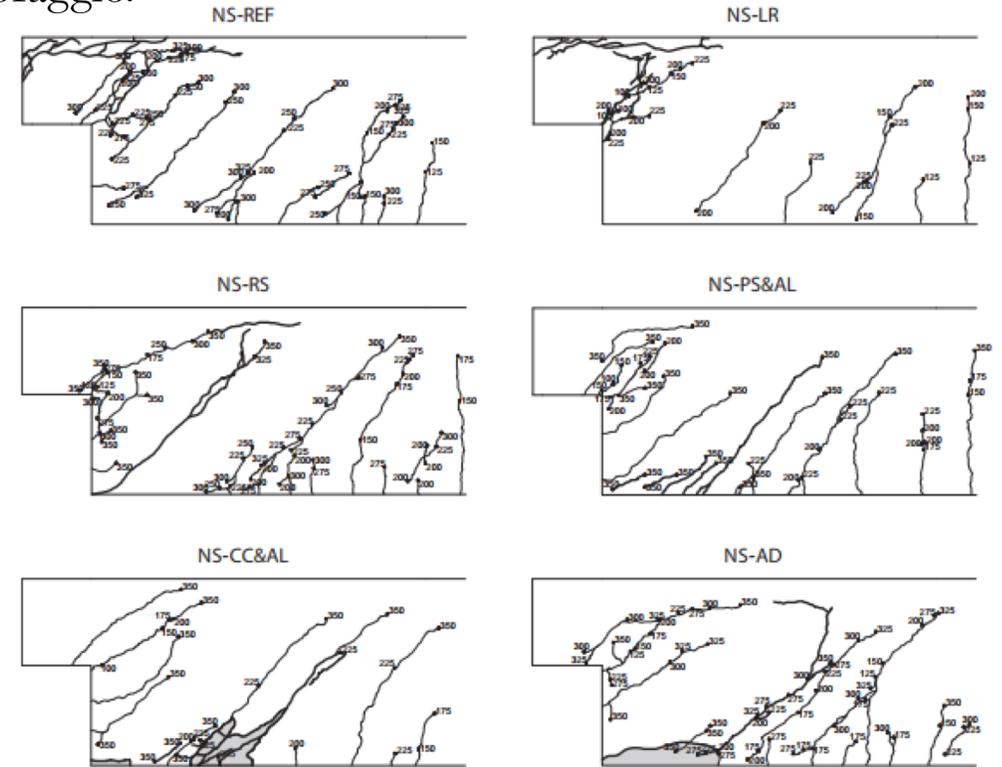
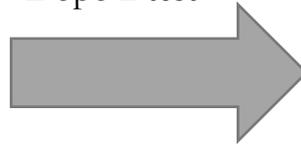
Layout di armature studiate da un gruppo di ricerca di Cambridge, poi portate a collasso in una prova a flessione su tre punti.

## Degrado delle armature nelle selle Gerber

- Meccanismi di degrado influiscono sulla configurazione a rottura: informazioni provenienti dalle ispezioni possono influire direttamente sulla scelta del layout dell'eventuale monitoraggio.

NS – REF	Provino di riferimento
NS – LR	Riduzione locale di armatura nella risega
NS – RS	Numero ridotto di armature
NS – PS&AL NS – CC&AL	Simulazione dilavamento del calcestruzzo all'ancoraggio dell'armatura longitudinale
NS – AD	Ancoraggio limitato dell'armatura diagonale

Dopo il test



Quadro fessurativo delle selle Gerber degradate e portate a rottura

Ipotesi e riproduzione dei più comuni meccanismi di degrado che affliggono le selle Gerber, nomenclatura delle prove

### Degrado delle selle Gerber:

Le selle Gerber sono elementi particolarmente suscettibili al degrado:

- Esposizione agli agenti atmosferici;
- Attacco da cloruri;
- Ristagni d'acqua;
- Distacco copriferro e conseguente degrado dell'armatura.



Difficoltà di ispezione:

L'accesso alla sella ed ai relativi apparecchi di appoggio è in genere non semplice:

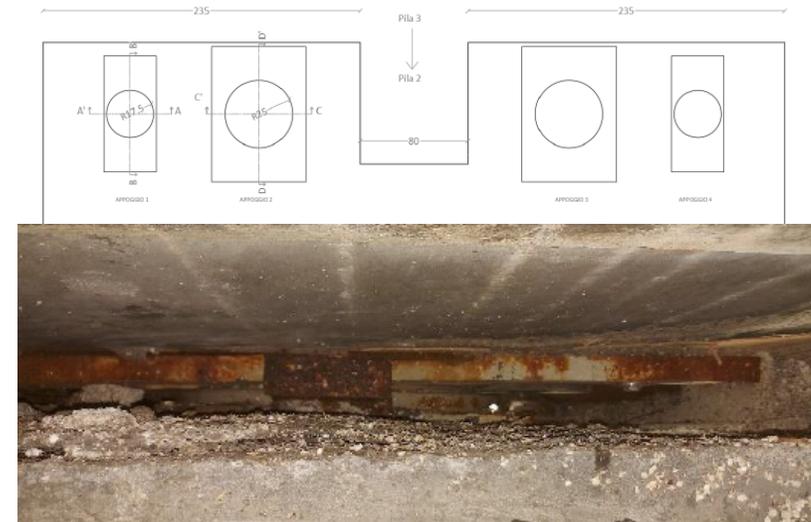
- Strutture elevate necessitano di un accesso dall'impalcato (sistemi by-bridge);
- L'accesso dal basso può essere difficoltoso in mancanza di appositi percorsi;
- Per selle facenti parte di sistemi a piastra piena vi è difficoltà di ispezione della parte interna della sella e dei sistemi di appoggio.



*Piattaforma by-bridge per l'accesso dall'impalcato*



*Piattaforma per l'accesso dal basso*



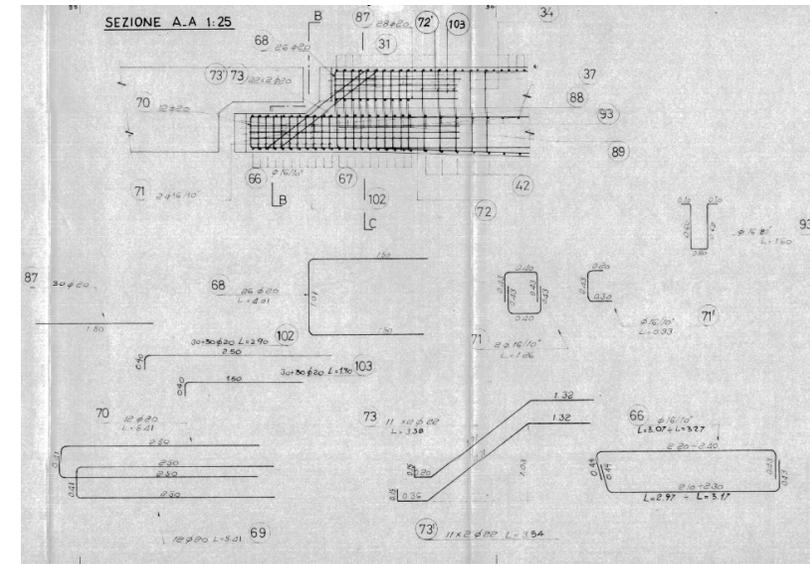
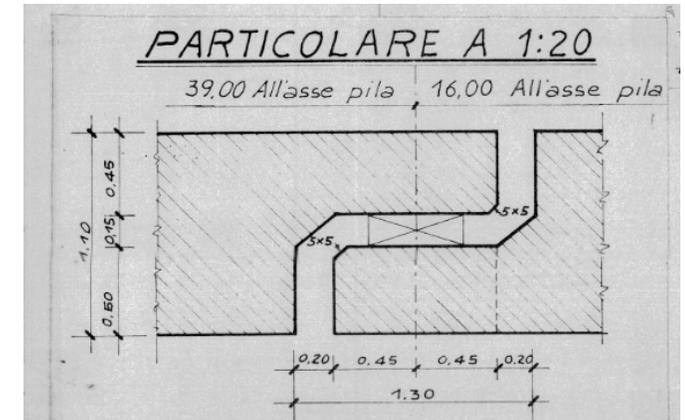
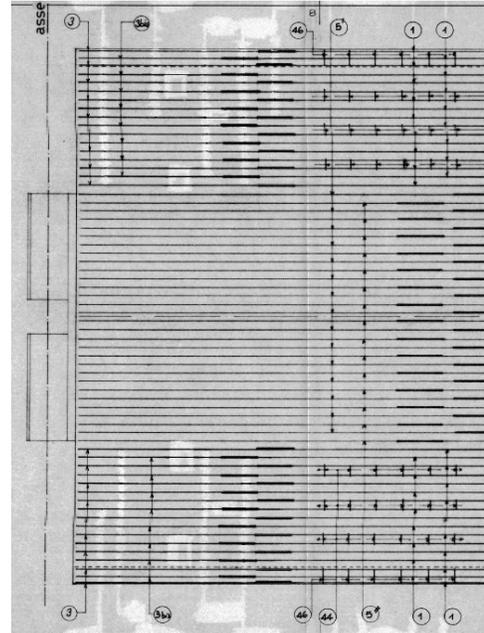
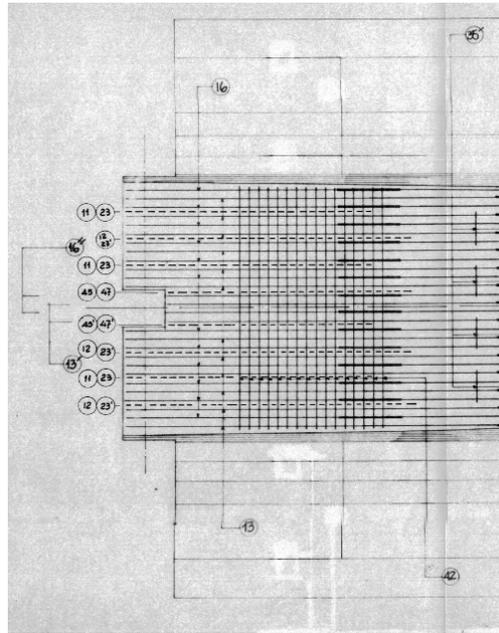
*Difficoltà nella valutazione degli appoggi*

Ricostruzione della effettiva geometria dell'armatura presente:

In alcuni casi sono disponibili i documenti di progetto originali.

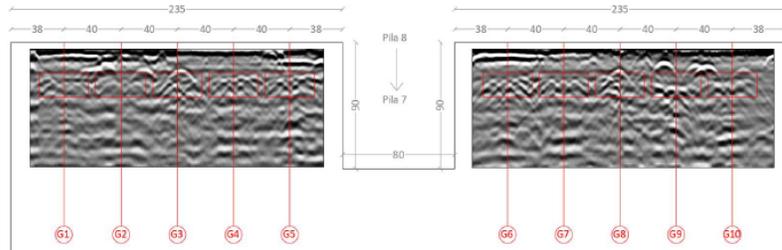
Ci possono essere casi in cui le relazioni di calcolo e/o le relative tavole sono mancanti o incomplete, rendendo così difficile la determinazione di geometria e dell'armatura delle selle Gerber.

Inoltre, data la significativa concentrazione di armature presenti nella sella, la reale geometria dell'armatura è di difficile ricostruzione tramite prove in sito.

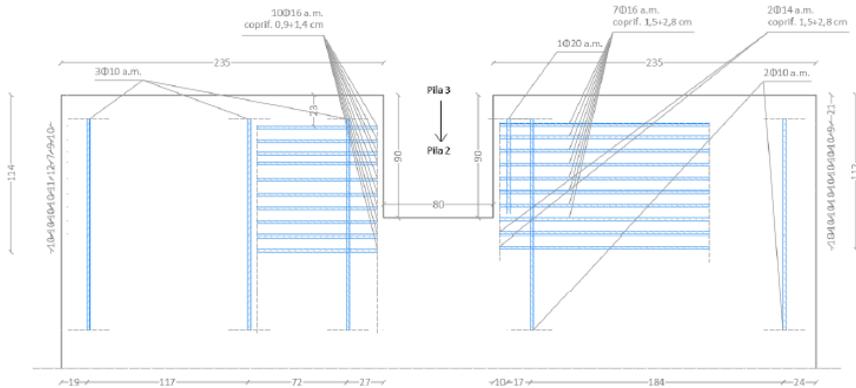


Ricostruzione della effettiva geometria dell'armatura presente:

- Rilievo geometrico strutturale in sito:



*Radargrammi per l'individuazione dei cavi post-tesi che si ancorano in corrispondenza della sella*



*Pacometrie o demolizioni controllate per il rilievo dell'armatura e del relativo degrado*



*Rilievo in sito*



Difficoltà di prelievo di campioni e rappresentatività:

- Demolizioni controllate per il prelievo di barre d'armatura da sottoporre a prove di laboratorio (di difficile esecuzione se mancanti appositi spazi di operatività);
- Difficoltà di prelievo di carote di calcestruzzo: spazi insufficienti per gli strumenti e/o elevata congestione di armature.

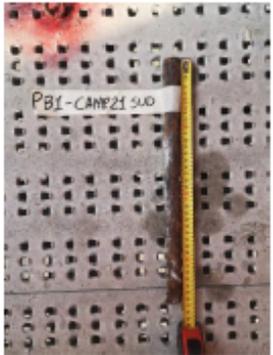


Foto 1 - campione prelevato



Foto 2 - pre rottura



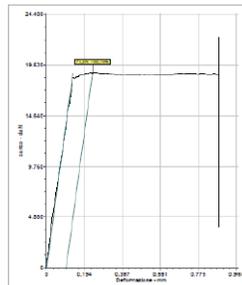
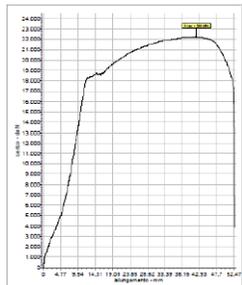
Foto 3 - Post rottura



CS 1 - Pre rottura



CS 1 - Post rottura



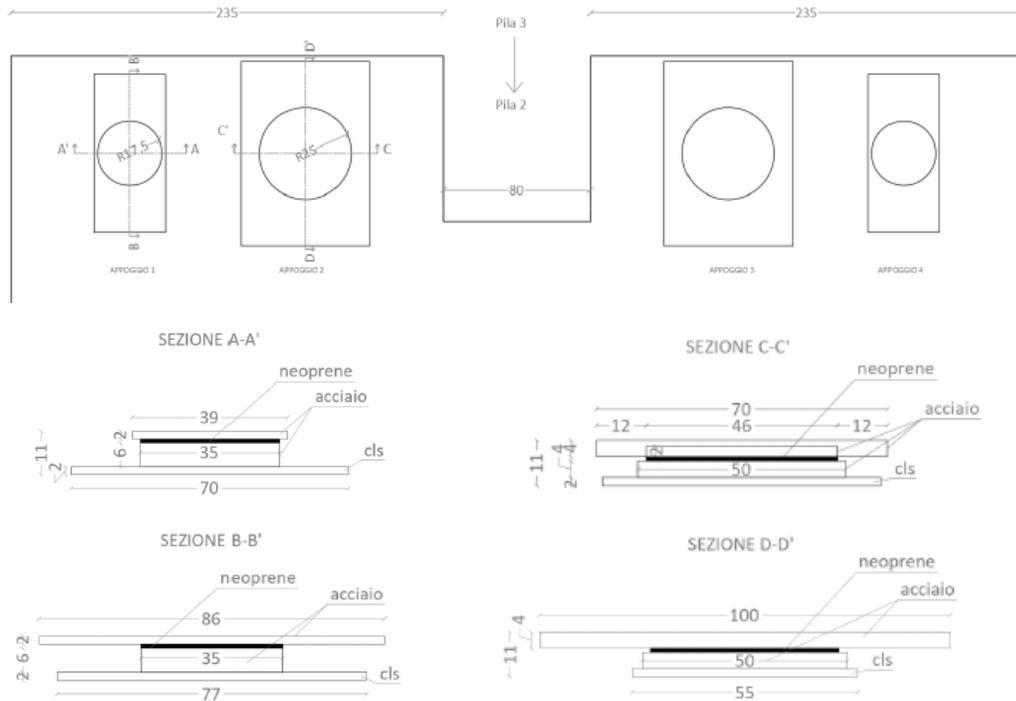
*Prelievo campioni  
d'armatura e successiva  
prova di rottura per trazione*



*Prelievo carote di cls e successiva prova di  
rottura per compressione*

## Metodi di ispezione degli apparecchi di appoggio nella sella Gerber

- Ispezioni visive in sito, per determinarne la geometria, il tipo ed il degrado:



*Ricostruzione del tipo di appoggio e dei materiali*



*Appoggio monodirezionale – stato di fatto*



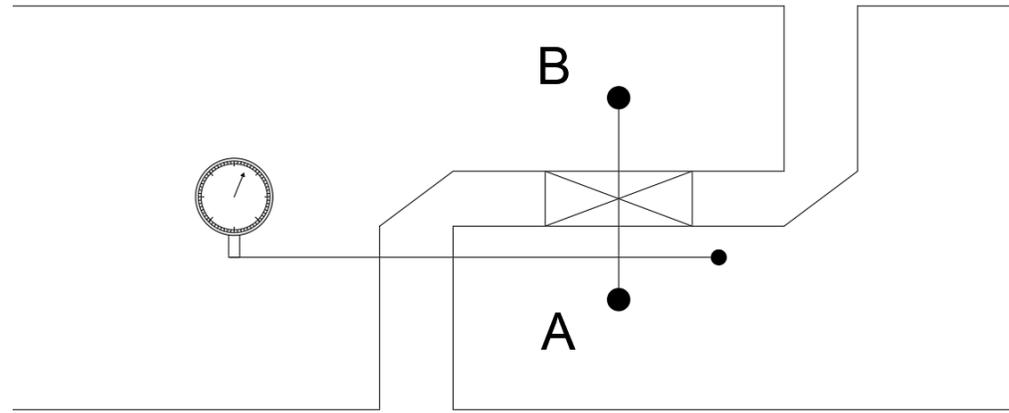
*Appoggio multidirezionale – stato di fatto*



*Stato appoggio a seguito di idropulizia per la rimozione di detriti*

Metodi di controllo della effettiva funzionalità degli appoggi

- Uso di comparatori di spostamento:



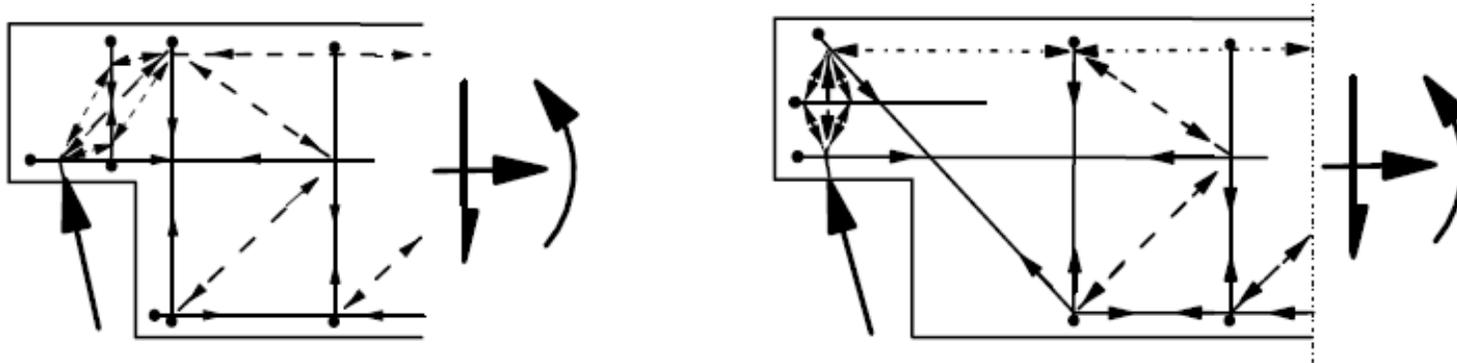
Controllo dello scorrimento longitudinale tra le travate con trasduttori di spostamento.

Essi misurano lo spostamento relativo tra le due travate permettendo di ottenere informazioni sulla effettiva funzionalità dei dispositivi d'appoggio.

Importante per ottenere informazioni su possibili sollecitazioni/stati di coazione non previsti in progetto (es. variazioni termiche)

Metodi di verifica della mensola tozza:

La verifica delle mensole tozze avviene normalmente tramite l'uso del metodo tirante – puntone. L'EC2 al punto 10.9.4.6 fornisce i seguenti schemi da poter utilizzare:



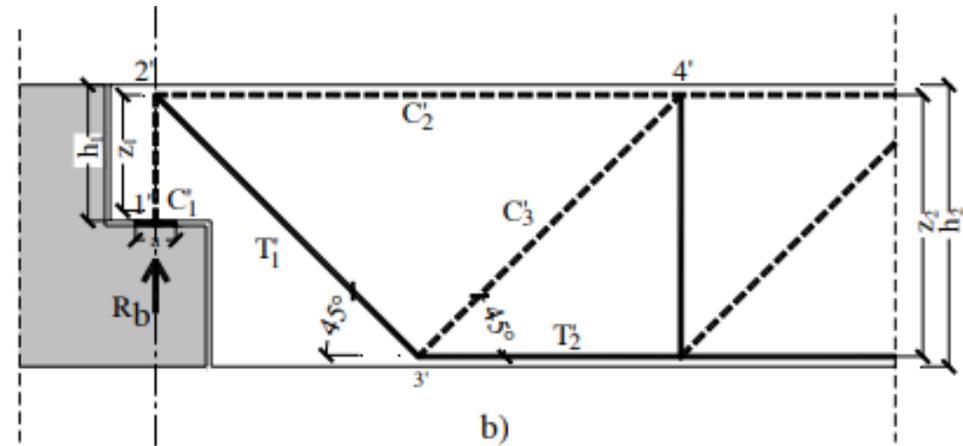
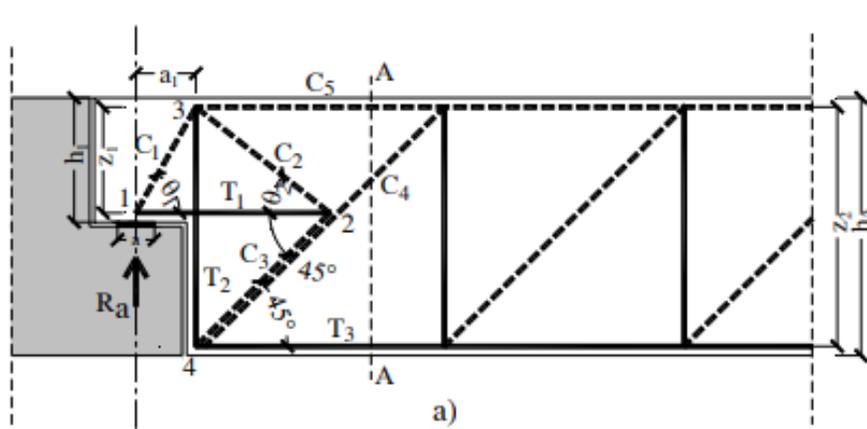
**Figure 10.4: Indicative models for reinforcement in half joints.**

L'EC2 non pone vincoli su come o quale schema utilizzare, lasciando la possibilità di impiegarli singolarmente o in combinazione tra loro, senza però fornire alcun tipo di indicazione specifica per quest'ultima possibilità.

Metodi di verifica della mensola tozza

Nel manuale AICAP «Progettazione di strutture in cemento armato» viene ripresa la trattazione dell'EC2 con alcune considerazioni aggiuntive:

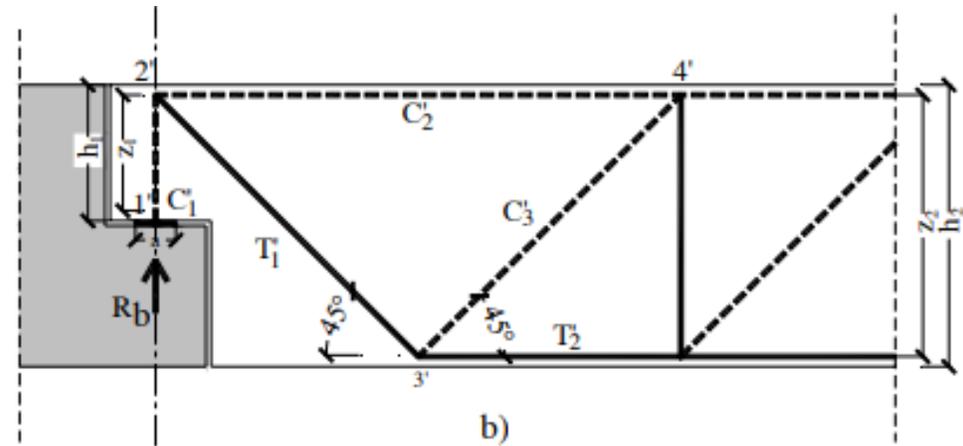
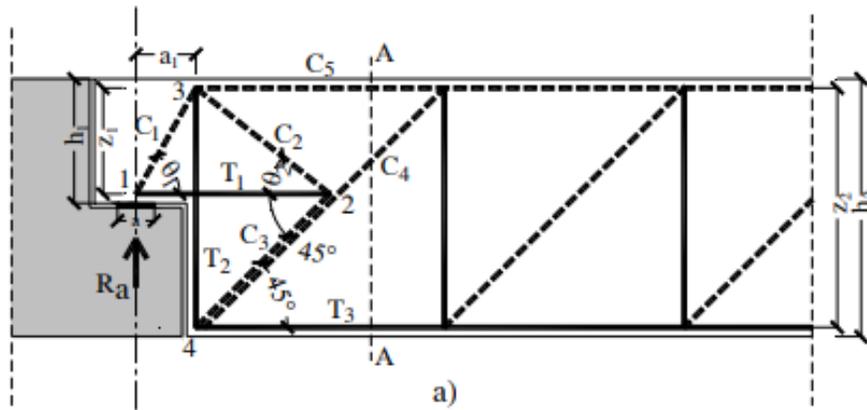
1. Schema (a): non prevede un'armatura longitudinale superiore su cui ancorare le staffe (tirante T2) e l'armatura di confinamento per il puntone di calcestruzzo C1;
2. Schema (b): carente in esercizio poiché il bordo inferiore della sella è completamente privo d'armatura;
3. Propone l'uso combinato (uno schema sopperirebbe ai difetti dell'altro), con una suddivisione al 50% tra i due schemi.



Metodi di verifica della mensola tozza

Una volta determinati i vari contributi, le NTC2018 (al punto 4.1.2.3.7) indicano le seguenti verifiche:

- Resistenza dei tiranti costituiti dalle sole armature ( $R_s$ );
- Resistenza dei puntoni di calcestruzzo compresso ( $R_c$ ), tenendo in conto eventuali stati di sforzo pluriassiali;
- Ancoraggio delle armature ( $R_b$ );
- Resistenza dei nodi ( $R_n$ ).

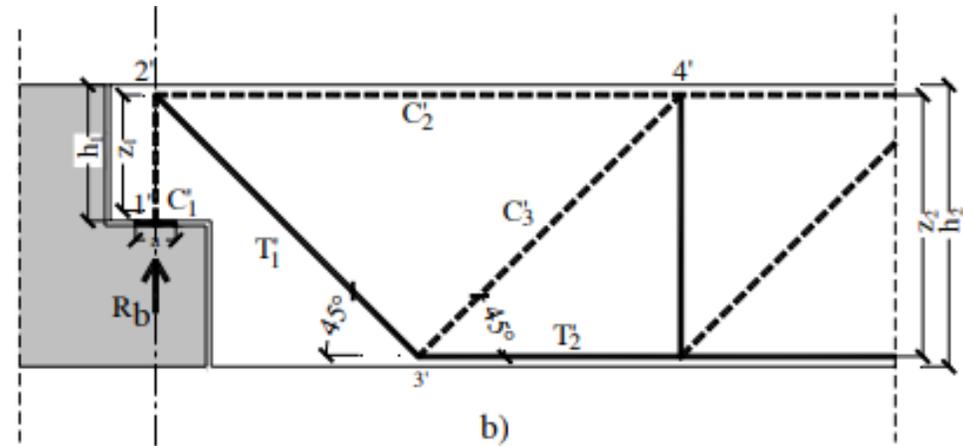
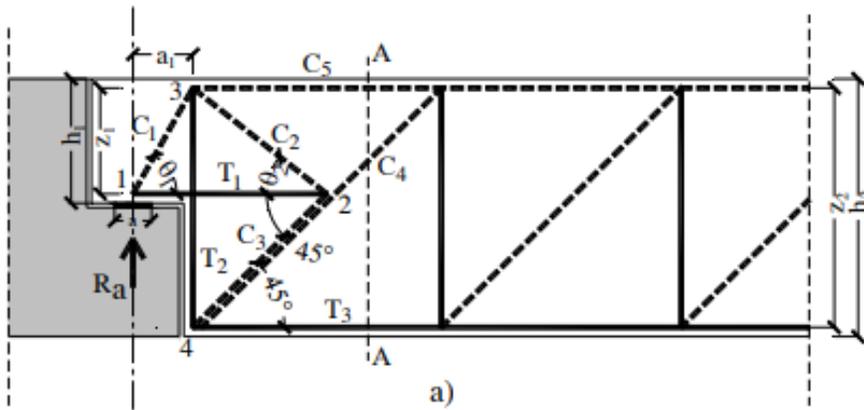


## Metodi di verifica della mensola tozza

Argomenti da approfondire:

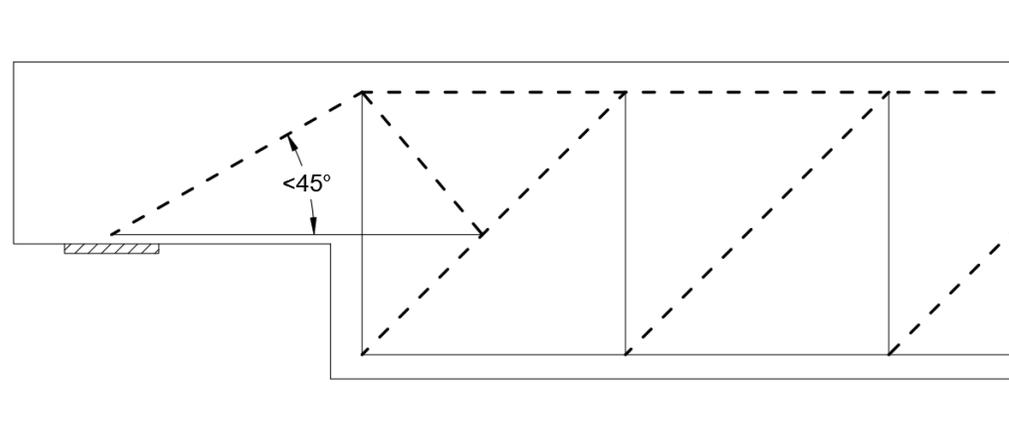
Una volta condiviso l'uso dei modelli strut-and-tie proposti dall'Eurocodice 2 andrebbero forniti:

- criteri per la definizione della percentuale di carico da assegnare a ciascuno dei modelli (la proposta «50%-50%» può essere ragionevole per strutture nuove ma per strutture esistenti ci sono poche valutazioni specifiche);
- criteri per la verifica dell'ancoraggio per armature soggette a corrosione.



### Metodi di verifica della mensola snella

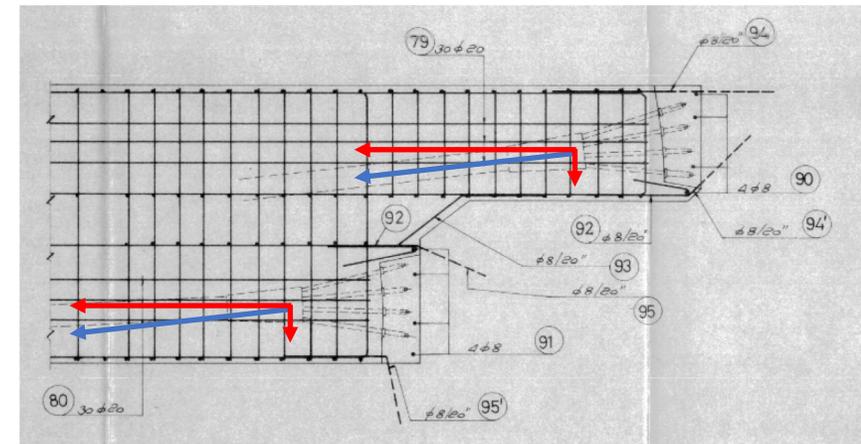
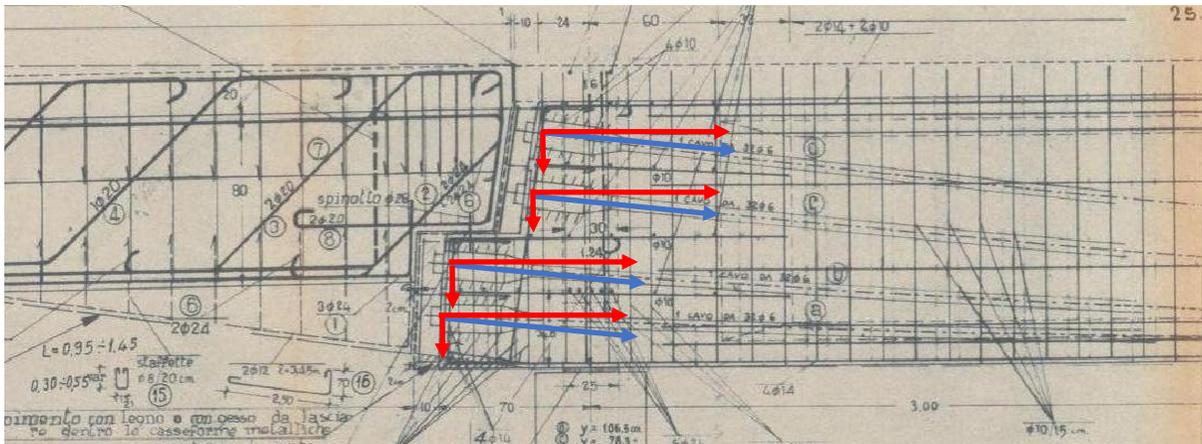
Le selle snelle presentano delle caratteristiche geometriche tali per cui il puntone inclinato in appoggio, ha un'inclinazione minore di  $45^\circ$  rispetto all'orizzontale. Per tale motivo non risulta appropriata la trattazione con modelli tirante – puntone e può essere verificata come una mensola snella, da cui si determina la coppia di forze necessarie alla costruzione di uno o più tralicci a monte di essa.



Metodi di valutazione del contributo della precompressione con testate di ancoraggio nella sella Gerber

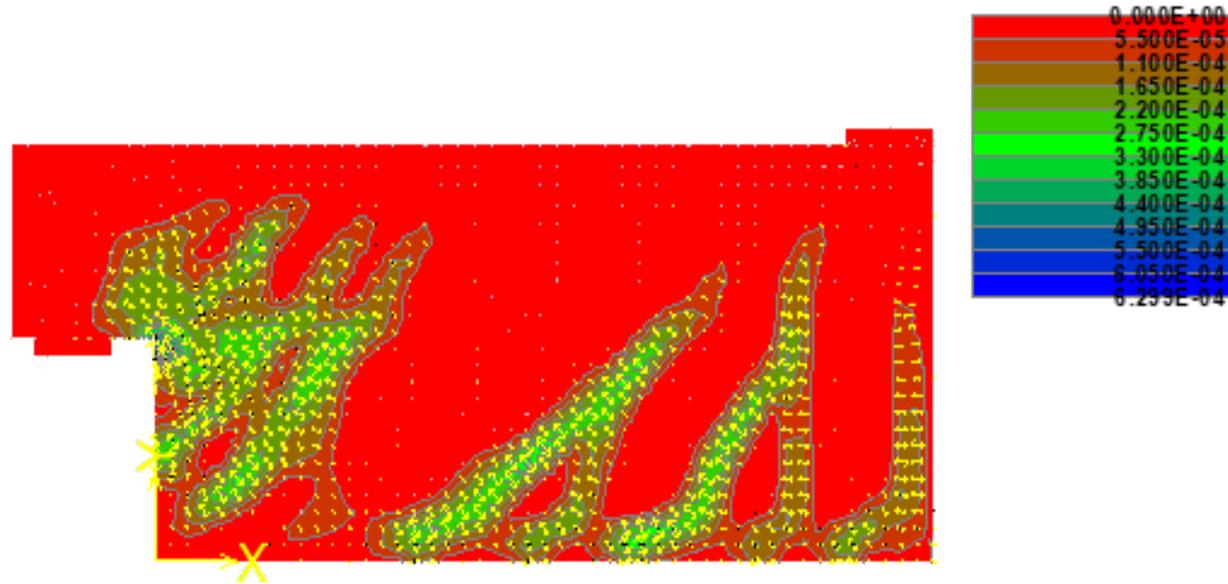
Nella verifica delle selle Gerber (oltre al peso proprio, ai carichi permanenti e ai carichi accidentali) vi è anche il contributo della precompressione, tramite il cosiddetto «controtaglio».

La componente verticale della forza di precompressione, o controtaglio, fornisce un contributo che si oppone al taglio agente dovuto ai carichi verticali. Poiché la stima della precompressione effettivamente agente in una travata post-tesa porta con sé un certo grado di complessità, una non corretta stima di tale contributo potrebbe portare ad esiti non conservativi delle verifiche di sicurezza delle selle Gerber.



## Metodi di verifica avanzati

La valutazione e la verifica della sella Gerber può essere eseguita anche tramite analisi non lineari agli elementi finiti.



*Estratto da "Concrete Half-Joints at the Ultimate Limit State" Rebecca Asso, Raffaele Cucuzza, Marco Martino Rosso, Davide Masera and Giuseppe Carlo Marano.*

Possibili spunti per il monitoraggio (in collaborazione con Polito – Prof. G.C. Marano):

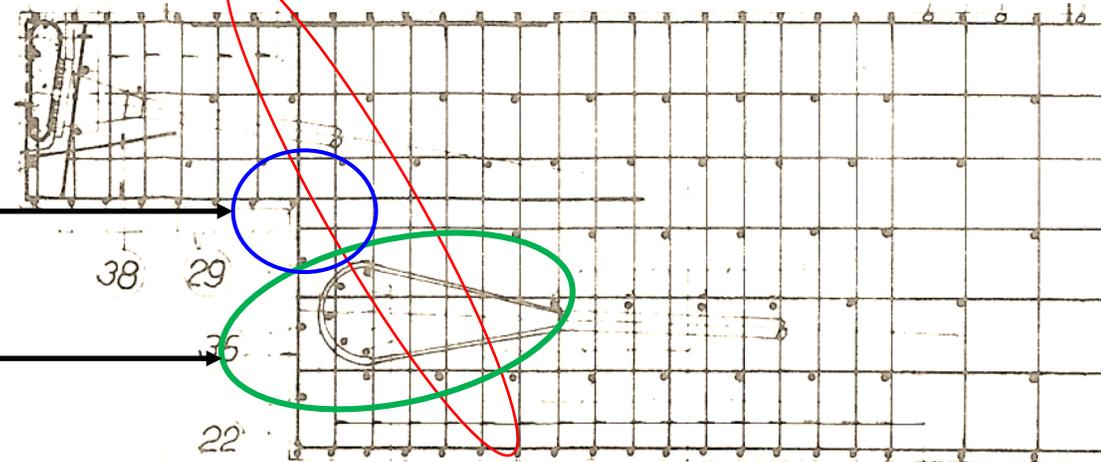
La fase preparatoria al monitoraggio assume una fondamentale importanza soprattutto quando si tratta di elementi fragili soggetti a rottura a taglio quindi con piccoli spostamenti che anticipano la rottura.

- Identificare le caratteristiche che indeboliscono l'elemento: configurazione armature lente, precompressione inferiore, risega a  $90^\circ$ , differenza di layout delle armature tra i due elementi della sella.

La risega a  $90^\circ$  favorisce la formazione di fessure. Nel caso di risega in più segmenti, al contrario, la sezione debole è alla fine di essa.

L'assenza di armatura diagonale rende molto più probabile la formazione di fessure all'interno della risega.

La presenza di un cavo di precompressione nella parte inferiore della risega aumenta la probabilità di fessurazione alla risega, soprattutto in caso di perdita di precompressione del cavo superiore.

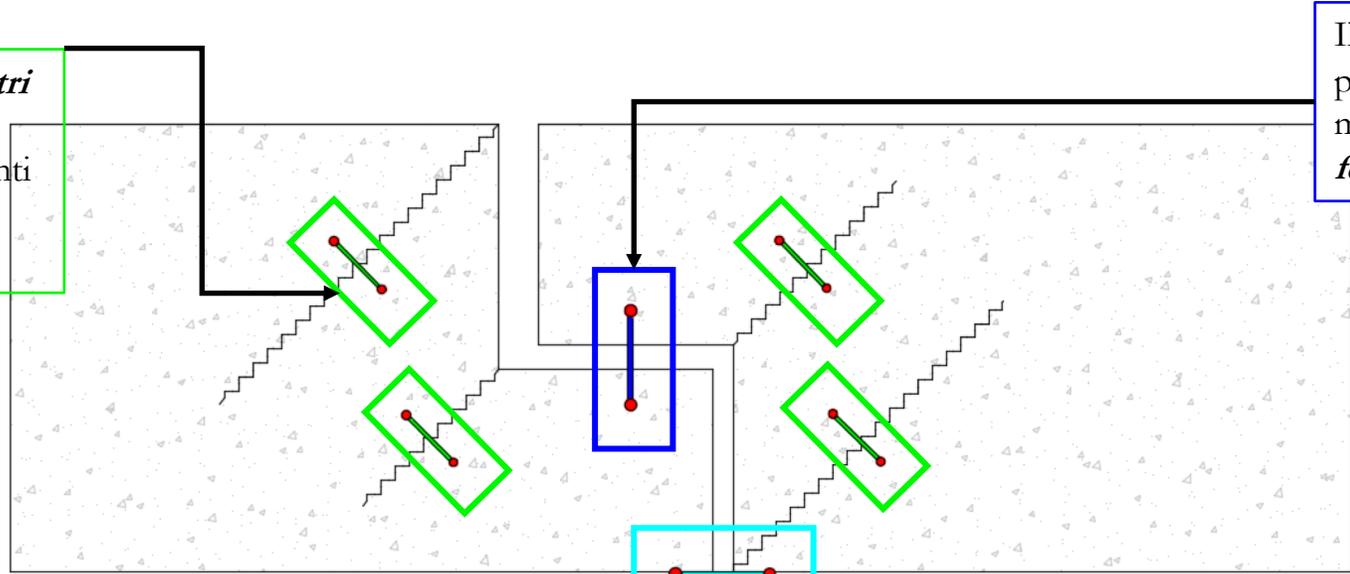


Proposta di monitoraggio (in collaborazione con Polito – Prof. G.C. Marano):

- Monitorare i punti sensibili che possono dare cedimenti improvvisi: è importante non sottovalutare l'asimmetria di armatura tra le due parti del giunto, come la possibilità di avere la formazione di fessure critiche sia nella parte della risega sia nella sezione

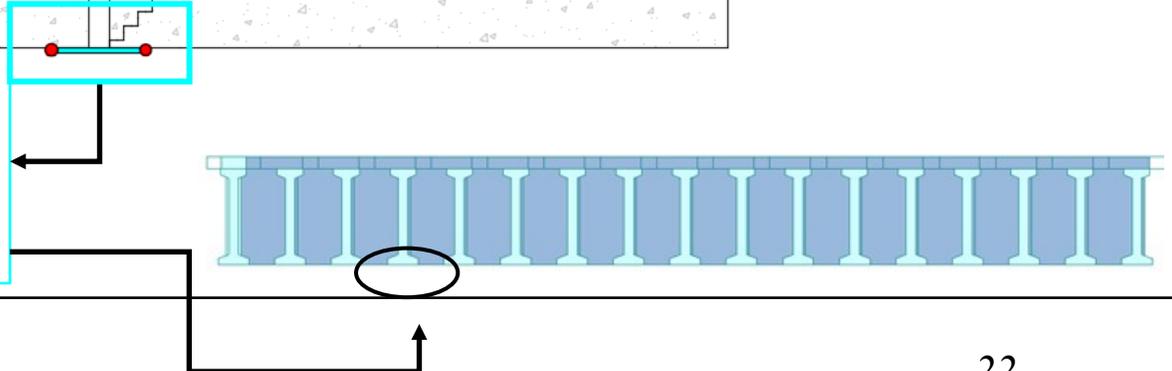
«piena»

L'applicazione di *estensimetri* permette di monitorare l'andamento di fessure esistenti e verificare la formazione di nuove fessure.



Il movimento relativo tra le due parti del giunto può essere monitorato tramite un *fessurimetro*.

Nel caso di impalcati a travata dove sia impossibile andare a strumentare lateralmente le travi intermedie, è possibile andare a paragonare gli spostamenti relativi delle due parti del giunto all'intradosso tramite *fessurimetri*. Il paragone con dati provenienti da sensori analoghi posizionati nella trave di bordo verifica l'apertura di possibili fessure o comportamenti anomali.



Proposta di monitoraggio (in collaborazione con Polito – Prof. G.C. Marano):

Strumento	Grandezza monitorata
Estensimetri	Formazione di nuove fessure Andamento delle fessure esistenti
Fessurimetri applicati tra i due elementi del giunto	Spostamenti relativi tra le due parti della sella Gerber
Fessurimetri applicati all'intradosso	Stato di salute degli elementi centrali non accessibili per il posizionamento di sensori nell'anima

