



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI FIRENZE

Studi e azioni per l'applicazione delle linee guida per i ponti esistenti in Toscana

Sant'Apollonia, Via San Gallo 25 – Firenze 4 luglio 2023

Prof. Mario De Stefano

LE ATTIVITÀ RELUIS IN TOSCANA PER LA SPERIMENTAZIONE DELLE LINEE GUIDA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

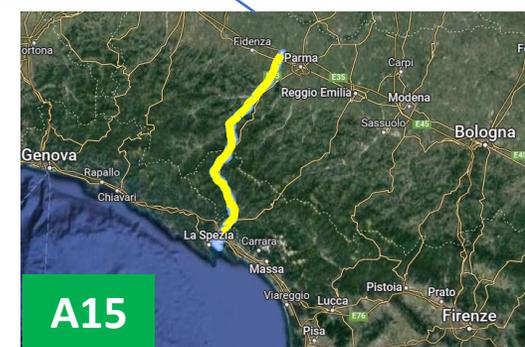
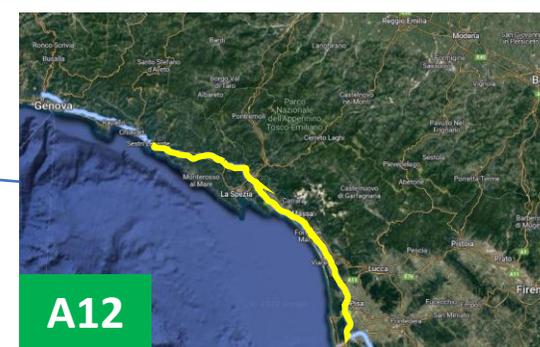
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

L'attività di ricerca della UR DIDA-UNIFI nel **Progetto “ReLUIS Ponti”** riguarda:

- **WP 2** – “Applicazione delle LLGG a tratte sperimentali”
- **WP 3** – “*Analisi, revisione e aggiornamento delle LLGG*”
 - Task 3.2** – “Identificazione e aggiornamento del modello strutturale”
 - Task 3.3** – “Valutazione formale della sicurezza”

WP2 – Toscana Coordinamento: Prof. Mario De Stefano

- **Numero di ponti assegnati : 26**
- Gruppo: **GAVIO**
- Società: **ASTM-SALT**
- Tratte assegnate:
Autostrada A12 Sestri Levante-Livorno
11 ponti
Autostrada A15 Parma-S. Stefano
15 ponti
- Materiale fornito:
 disegni esecutivi, calcolo statico e collaudo (**non per tutte le opere**),
 report ispettivi (**SINA**), **foglio Excel con dati incompleti** per compilazione
 schede censimento (livello 0), **schede S.I.O.S.** (livello 1) e schede di
 valutazione della classe di attenzione (livello 2) secondo **equivalenza**
difettologica.

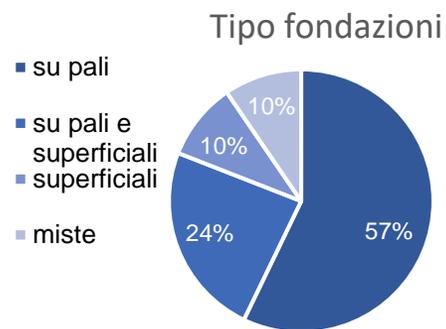
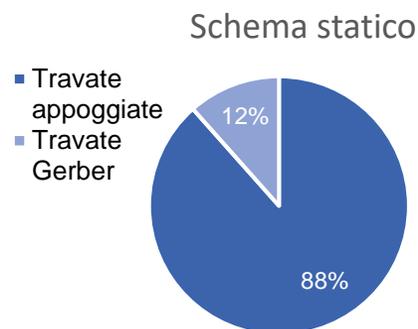
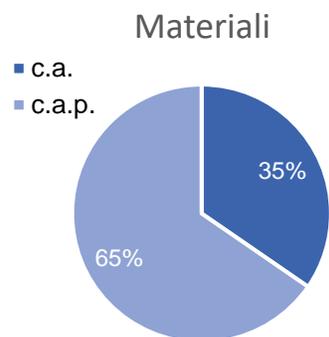


LAVORO FINORA SVOLTO

Confronto fra i dati richiesti dalle schede LLGG con quelli forniti dall'Ente gestore.

Il confronto è stato compiuto per le schede di livello 0, 1 e 2:

- **Livello 0:** le schede di censimento secondo LLGG non risultato compilate. Mancano dati facilmente reperibili (per es., PGA sito opera)
- **Livello 1:** sono state caricate schede S.I.O.S. (**metodo SINA**) in cui compare soltanto un'equivalenza con parametri LLGG
- **Livello 2:** sono state valutate le classi di attenzione LLGG sulla base di equivalenza con i parametri LLGG



Procedura per la valutazione della Classe di Attenzione secondo le LLGG



Carichi presenti
(transito di trasporto
eccezionale)



Livello di traffico
giornaliero medio e
luce della campata

Le differenze con il metodo SINA si osservano principalmente nella definizione della Classe di Vulnerabilità (**Livello di difettosità**)

Schede difettologiche

N° difetto: c.a./c.a.p._5

Distacco del copriferro

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k ₁	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
					Intensità k ₂	Sempre = 1		

Descrizione

Il difetto si riferisce alla mancanza di porzioni di strato di ricoprimento in calcestruzzo delle armature longitudinali e trasversali degli elementi, con conseguente esposizione di queste ultime agli agenti ossidanti e corrosivi.

Particolarmente soggette a distacchi di copriferro sono le travi più esterne dei ponti a travata, maggiormente esposte agli effetti degli agenti esterni.

Tale fenomeno si concentra spesso in corrispondenza delle zone degli spigoli degli elementi, caratterizzate da un elevato rapporto superficie/volume esposto e quindi più soggette a distacchi.



Cause

Il distacco di copriferro è dovuto a fenomeni chimici e fisici, quali il deterioramento del calcestruzzo causato dall'azione dell'acqua e dell'umidità e la carbonatazione, favorita dalla presenza di calcestruzzi porosi in ambienti aggressivi, ma anche ad errori in fase di esecuzione, quali spessori di copriferro molto esigui o scarso interferro, o a cause accidentali, quali l'urto di automezzi.



Fenomeni di degrado correlati

Generalmente il fenomeno si riscontra in corrispondenza di zone in cui il calcestruzzo appare dilavato o ammalorato o in corrispondenza di vespai, dove la non corretta modalità di getto facilita la disgregazione del materiale. Conseguenti ai distacchi di copriferro, sono i fenomeni di ossidazione e/o corrosione delle armature esposte.



Equivalenza proposta da SINA

Gravità

Peso "G"	Classe SIOS
1	Classe 1
2	
3	Classe 2
4	Classe 3
5	

TRAVI		A87503T1 Campata 3 Elemento N° 1		
VI 1	Ammaloramento	Gravità	Estensione (%)	Dettaglio
	Macchie di umidità attiva	lieve	0.04%	
	Macchie di umidità attiva	medio	0.17%	
	Calcestruzzo dilavato/ammalorato	lieve	0.22%	

Per SINA tutti i difetti seguono gli stessi criteri per estensione e intensità mentre per LLGG tali criteri dipendono dai difetti

Estensione

Linee Guida Ponti Parametro k1	Estensione SIOS (ispezione stima percentuale)
0.2	0÷5
	5÷25
0.5	25÷50
1	50÷100

Intensità

Linee Guida Ponti Parametro k2	Intensità SIOS
0.2	Lieve
0.5	Medio
1	Forte

Schede difettologiche

N° difetto: c.a./c.a.p._5

Distacco del copriferro

Peso del difetto

G = 1	G = 2	G = 3	G = 4	G = 5	Estensione k1	0,2 (appena presente)	0,5 (~50% superficie)	1 (~tutta la superficie)
					Intensità k2	Sempre = 1		

Descrizione

Il difetto si riferisce alla mancanza di porzioni di strato di ricoprimento in calcestruzzo delle armature longitudinali e trasversali degli elementi, con conseguente esposizione di queste ultime agli agenti ossidanti e corrosivi. Particolarmente soggette a distacchi di copriferro sono le travi più esterne dei ponti a travata, maggiormente esposte agli effetti degli agenti esterni. Tale fenomeno si concentra spesso in corrispondenza delle zone degli spigoli degli elementi, caratterizzate da un elevato rapporto superficie/volume esposto e quindi più soggette a distacchi.



Cause

Il distacco di copriferro è dovuto a fenomeni chimici e fisici, quali il deterioramento del calcestruzzo causato dall'azione dell'acqua e dell'umidità e la carbonatazione, favorita dalla presenza di calcestruzzi porosi in ambienti aggressivi, ma anche ad errori in fase di esecuzione, quali spessori di copriferro molto esigui o scarso interferro, o a cause accidentali, quali l'urto di automezzi.



Fenomeni di degrado correlati

Generalmente il fenomeno si riscontra in corrispondenza di zone in cui il calcestruzzo appare dilavato o ammalorato o in corrispondenza di vespai, dove la non corretta modalità di getto facilita la disgregazione del materiale. Conseguenti ai distacchi di copriferro, sono i fenomeni di ossidazione e/o corrosione delle armature esposte.

Catalogo difetti SINA

Codice	Nome	Peso
Acc1	Difetti di saldatura	4
Acc2	Rottura di saldature	5
Acc3	Sfogliamento vernice	2
Acc4	Difetti di chiodatura	5
Acc5	Bulloni allentati	4
Acc6	Bulloni tranciati	5
Acc7	Deformaz. anime/piattabande-pareti travi scatolari	3
Acc9	Lesioni ai nodi	5
Acc10	Corrosione	4
Acc11	Ossidazione	2
cacap1	Macchie di umidità passiva	1
cacap2	Macchie di umidità attiva	3
cacap3	Calcestruzzo dilavato/ammalorato	3
cacap4	Vespai	2
cacap5	Distacco del copriferro	2
cacap6	Armatura ossidata e/o corrosa	5
cacap7	Lesioni a ragnatela modeste	1
cacap8	Fessure orizzontali	2
cacap9	Fessure verticali	2
cacap10	Fessure diagonali	5
cacap11	Lesioni attacco pilastri	3
cacap12	Riprese successive deteriorate	1
cacap13	Lesioni da schiacciamento	4
cacap15	Lesioni in corrispondenza delle staffe	2
cacap16	Staffe scoperte/ossidate	3
cacap17	Armatura longitudinale deformata	5
cacap18	Fessure longitudinali	2
cacap19	Fessure trasversali	5
cacap21	Riduzione sez resistente testata	4
cacap22	Lesioni distacco travi/traversi	3

Codice	Nome	Peso
cacap23	Rottura staffe	4
cacap24	Difetti delle selle Gerber	5
cacap25	Lesioni attacco trave-soletta	2
cap1	Lesioni capillari ancoraggi	1
cap2	Testate di ancoraggio non sigillate	2
cap3	Distacco tamponi testate	1
cap4	Lesioni su anima lungo i cavi	2
cap5	Lesioni lungo suola del bulbo	2
cap6	Guaine in vista	2
cap7	Guaine degradate e fili ossidati	4
cap8	Fili aderenti in vista ossidati	4
cap9	Riduzione armatura di precompressione	5
cap10	Umidità dall interno	2
cap11	Armatura scoperta/ossidata testate	2
cap12	Fuoriuscita barre ancoraggio	5
App1	Piastra di base deformata	2
App2	Ossidazione	2
App3	Bloccaggio	4
App4	Prerogolazione Sbagliata	
App5	Presenza di detriti	
App6	Schiacciamento/fuoriuscita lastr.	
App7	Invecchiamento Neoprene	
App8	Deformazione orizzontale eccess.	
App9	Schiacciamento/Fuoriuscita Neo.	
App10	Ammaloramento pendoli in C.A.	
App11	Fuori piombo permanente pend.	
App12	Ovalizzazione rulli metallici	
App13	Fuori sede rulli metallici	
App14	Deterioramento del Teflon	
RilFond1	Scalzamento	

Presenza di numero maggiore di difettologie rispetto alle LLGG

Codice	Nome	Peso
RilFond3	Dissesto del rilevato di approccio	2
RilFond5	Movimenti di fondazione	5
DifGen1	Tracce di scolo	3
DifGen2	Ristagni d acqua	2
DifGen3	Danni da urto	4
DifGen4	Lesioni caratteristiche in zona appoggio	3
DifGen5	Ristagni d acqua nei cassoni	4
DifGen6	Fuori piombo	5
Giunt1	Dislivello giunto pavimentazione	1
Giunt2	Dislivello tra elementi contigui	1
Giunt3	Riparazioni provvisorie Giunti	1
Giunt4	Massetti lesionati	2
Giunt5	Distacco tampone	1
Giunt6	Deformazione tampone	1
Giunt7	Ammaloramento profilati	2
Giunt8	Deformazione/Rottura Elementi di Continuità	2
Giunt9	Scossalina permeabile o assente	2
MITPAV1	MIT_PAV_Dislivello rilevato impalcato	1
MITPAV2	MIT_PAV_Presenza di dossi	1
MITPAV3	MIT_PAV_Fessure - anomalie	1

Codice	Nome	Peso
MITCOR1	MIT_COR_Assenti	1
MITCOR2	MIT_COR_Degradati	1
MITCON1	MIT_CONAC_Assenti	3
MITCOR3	MIT_COR_Pozzetti intasati	1
MITCON2	MIT_CONAC_Scarichi corti	2
MITCON3	MIT_CONAC_Scarichi ostruiti	1
MITCON4	MIT_CONAC_Scarichi danneggiati	2
MITMAR1	MIT_MAR_Assenti	1
MITMAR2	MIT_MAR_Cattiva pavimentazione	1
MITILL1	MIT_ILL_Assenti	2
MITILL2	MIT_ILL_Mal ancorati	2
MITILL3	MIT_ILL_Danneggiati	2
MITILL4	MIT_ILL_Arrugginiti	1
MITSER1	MIT_SERV_Assenti	1
MITSER2	MIT_SERV_Mal ancorati	2
DifGiun	Difetti o mancanza giunzioni	2
DnManc	Danneggiamento mancorrente	2
OssMet	Ossidazione parti metalliche o ammaloramento cls	2
Urt	Danno da urto	2
VinCed	Vincolo cedevole e/o difetto di ancoraggio	2

Catalogo difetti SINA

Codice	Nome	Peso
Acc1	Difetti di saldatura	4
Acc2	Rottura di saldature	5
Acc3	Sfogliamento vernice	2
Acc4	Difetti di chiodatura	5
Acc5	Bulloni allentati	4
Acc6	Bulloni tranciati	5
Acc7	Deformaz. anime/piattabande-pareti travi scatolari	3
Acc9	Lesioni ai nodi	5
Acc10	Corrosione	4
Acc11	Ossidazione	2
cacap1	Macchie di umidità passiva	1
cacap2	Macchie di umidità attiva	3
cacap3	Calcestruzzo dilavato/ammalorato	3
cacap4	Vespai	2
cacap5	Distacco del copriferro	2
cacap6	Armatura ossidata e/o corrosa	5
cacap7	Lesioni a ragnatela modeste	1
cacap8	Fessure orizzontali	2
cacap9	Fessure verticali	2
cacap10	Fessure diagonali	5
cacap11	Lesioni attacco pilastri	3
cacap12	Riprese successive deteriorate	1
cacap13	Lesioni da schiacciamento	4
cacap15	Lesioni in corrispondenza delle staffe	2
cacap16	Staffe scoperte/ossidate	3
cacap17	Armatura longitudinale deformata	5
cacap18	Fessure longitudinali	2
cacap19	Fessure trasversali	5
cacap21	Riduzione sez resistente testata	4
cacap22	Lesioni distacco travi/traversi	3

Codice	Nome	Peso
cacap23	Rottura staffe	4
cacap24	Difetti delle selle Gerber	5
cacap25	Lesioni attacco trave-soletta	2
cap1	Lesioni capillari ancoraggi	1
cap2	Testate di ancoraggio non sigillate	2
cap3	Distacco tamponi testate	1
cap4	Lesioni su anima lungo i cavi	2
cap5	Lesioni lungo suola del bulbo	2
cap6	Guaine in vista	2
cap7	Guaine degradate e fili ossidati	4
cap8	Fili aderenti in vista ossidati	4
cap9	Riduzione armatura di precompressione	5
cap10	Umidità dall'interno	2
cap11	Armatura scoperta/ossidata testate	2
cap12	Fuoriuscita barre ancoraggio	5
App1	Piastra di base deformata	2
App2	Ossidazione	2
App3	Bloccaggio	
App4	Preregolazione Sbagliata	
App5	Presenza di detriti	
App6	Schiacciamento/fuoriuscita lastre di piombo	
App7	Invecchiamento Neoprene	
App8	Deformazione orizzontale eccessiva neoprene	
App9	Schiacciamento/Fuoriuscita Neoprene	
App10	Ammaloramento pendoli in C.A.	
App11	Fuori piombo permanente pendoli	
App12	Ovalizzazione rulli metallici	
App13	Fuori sede rulli metallici	
App14	Deterioramento del Teflon	
RilFond1	Scalzamento	

Codice	Nome	Peso
RilFond3	Dissesto del rilevato di approccio	2
RilFond5	Movimenti di fondazione	5
DifGen1	Tracce di scolo	3
DifGen2	Ristagni d'acqua	2
DifGen3	Danni da urto	4
DifGen4	Lesioni caratteristiche in zona appoggio	3
DifGen5	Ristagni d'acqua nei cassoni	4
DifGen6	Fuori piombo	5
Giunt1	Dislivello giunto pavimentazione	1
Giunt2	Dislivello tra elementi contigui	1
Giunt3	Riparazioni provvisorie Giunti	1
Giunt4	Massetti lesionati	2
Giunt5	Distacco tampone	1
Giunt6	Deformazione tampone	1
Giunt7	Ammaloramento profilati	2
Giunt8	Deformazione/Rottura Elementi di Continuità	2
Giunt9	Scossalina permeabile o assente	2
MITPAV1	MIT_PAV_Dislivello rilevato impalcato	1
MITPAV2	MIT_PAV_Presenza di dossi	1
MITPAV3	MIT_PAV_Fessure - anomalie	1

Alcuni difetti sono ripetuti e caratterizzati da gravità differenti

Codice	Nome	Peso
MITCOR1	MIT_COR_Assenti	1
MITCOR2	MIT_COR_Degradati	1
MITCON1	MIT_CONAC_Assenti	3
MITCOR3	MIT_COR_Pozzetti intasati	1
MITCON2	MIT_CONAC_Scarichi corti	2
MITCON3	MIT_CONAC_Scarichi ostruiti	1
MITCON4	MIT_CONAC_Scarichi danneggiati	2
MITMAR1	MIT_MAR_Assenti	1
MITMAR2	MIT_MAR_Cattiva pavimentazione	1
MITILL1	MIT_ILL_Assenti	2
MITILL2	MIT_ILL_Mal ancorati	2
MITILL3	MIT_ILL_Danneggiati	2
MITILL4	MIT_ILL_Arrugginiti	1
MITSER1	MIT_SERV_Assenti	1
MITSER2	MIT_SERV_Mal ancorati	2
DifGiun	Difetti o mancanza giunzioni	2
DnManc	Danneggiamento mancorrente	2
OssMet	Ossidazione parti metalliche o ammaloramento cls	2
Urt	Danno da urto	2
VinCed	Vincolo cedevole e/o diretto di ancoraggio	2

ESEMPIO - Difettosità strutturale di livello ALTO: LLGG vs metodo SINA

Ulteriore elemento di differenza è rappresentato dalla modalità di combinazione dei parametri di gravità, intensità ed estensione per valutare il livello di difettosità strutturale. Esempio: livello alto

Tabella 4.5. – Classificazione del livello di difettosità

ALTO <i>G</i>	Difetti di <u>gravità alta o medio-alta</u> ($G=5$ o $G=4$) e di <u>qualsiasi intensità</u> su <u>elementi critici</u> (selle Gerber, appoggi, cavi di precompressione, fondazioni scalzate, si veda definizione del § 3.3) o presenza di <u>condizioni critiche</u> (quadri fessurativi molto estesi ed intensi, cinematismi in atto, incipiente perdita di appoggio)
MEDIO-ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi può compromettere la statica dell'opera, come segnalato nella scheda di rilievo all'Allegato B
MEDIO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi non può compromettere il comportamento statico globale dell'opera e difetti di gravità alta ($G=5$) e di intensità medio-bassa
MEDIO-BASSO	Difetti di gravità medio-alta ($G=4$) con intensità medio-bassa e difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero elevato
BASSO	Difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero esiguo

SINA

Degrado con $G > 3$ su:

- Selle Gerber
- Appoggi a pendolo o rullo ($k_2 >$ lieve)
- Altri appoggi ($k_2 =$ forte)
- Riduz. armatura precompr.
- Fuoriuscita barre ancoraggio
- Guaine degradate e fili ossidati ($k_2 >$ lieve)
- Fili aderenti in vista ossidati ($k_2 >$ lieve)
- Scalzamento ($k_2 >$ lieve)
- Movimenti in fondazione ($k_2 >$ lieve)

Conclusioni WP2

- I parametri estensione k_1 e intensità k_2 del metodo SINA sono, a prescindere dal tipo di difetto, sempre suddivisi allo stesso modo (tre sottoclassi) mentre nelle LLGG dipendono dallo specifico difetto;
- Nel catalogo difetti SINA ci sono alcuni difetti ridondanti che presentano gravità differenti;
- Ulteriore elemento di differenza è rappresentato dalla modalità di combinazione dei parametri di gravità, intensità ed estensione per valutare il livello di difettosità strutturale.

Task 3.2 – “Identificazione e aggiornamento del modello strutturale”

Obiettivi UR

- Messa a punto di **procedura probabilistica** per l’aggiornamento del modello FEM basata sull’**approccio Bayesiano** con l’utilizzo dei risultati di misure dinamiche
- Sviluppo di un metodo per la stima delle incertezze presenti nelle proprietà modali del ponte con l’impiego dei risultati di misure dinamiche ottenute con **sensori cablati e wireless**
- Preparazione di linee guida per l’identificazione dinamica di ponti in acciaio-calcestruzzo **in curva** strumentati con accelerometri

Task 3.2 – “Identificazione e aggiornamento del modello strutturale”

Attività svolte

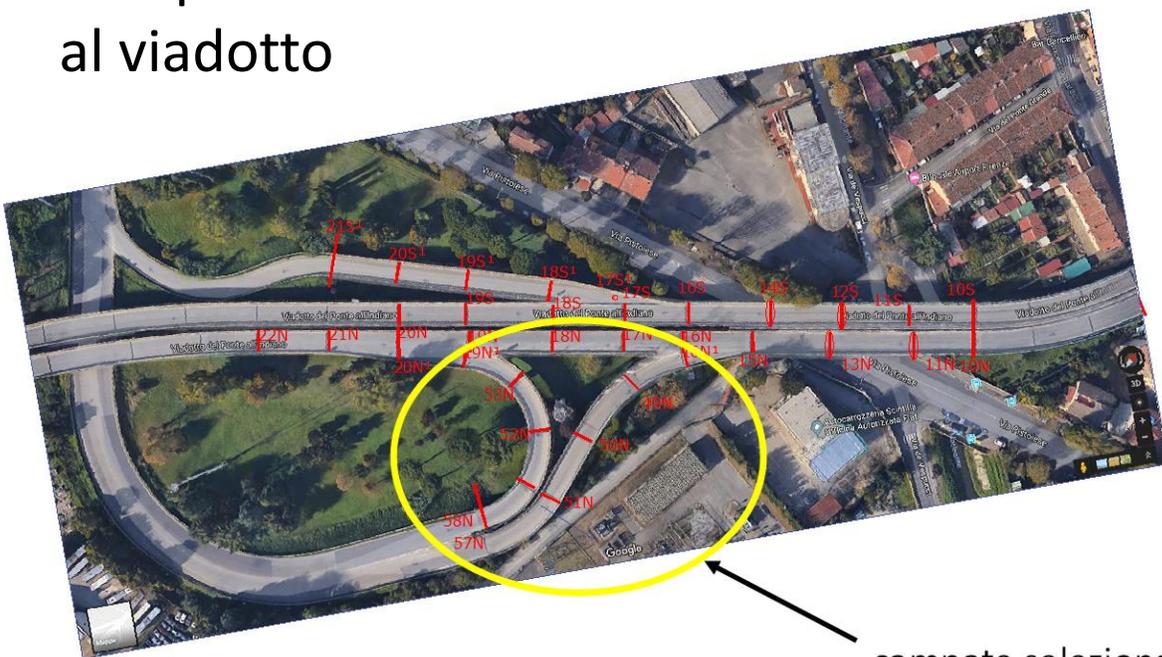
- Selezione del caso studio per identificazione dinamica;
- Reperimento del materiale inerente la progettazione strutturale dell’opera;
- Messa a punto di un modello ad elementi finiti per stima preliminare delle frequenze e forme modali;
- Configurazione strumentazione wireless;
- Test in laboratorio su sensori wireless con confronto con accelerometri cablati.

Caso studio



Viadotto all'Indiano (Firenze)

Campate d'accesso al viadotto

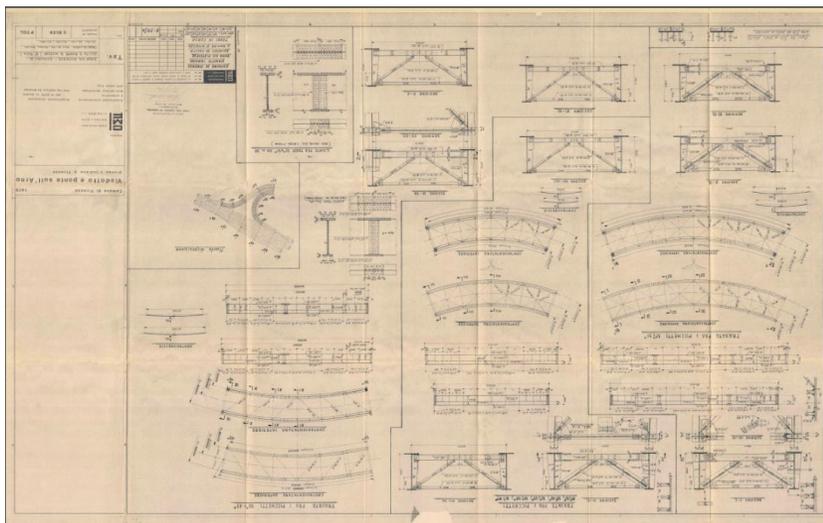


campate selezionabili

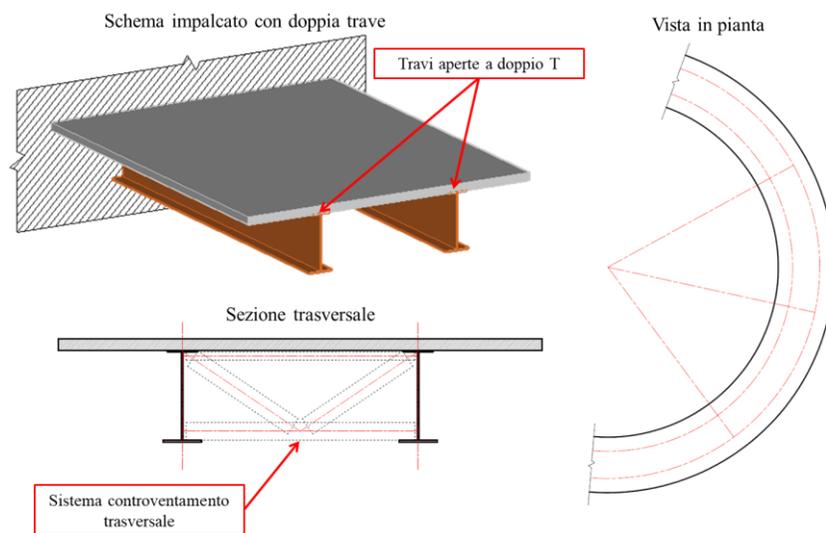
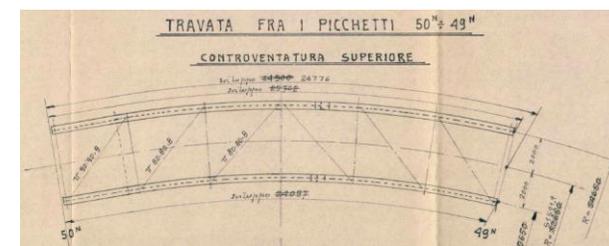
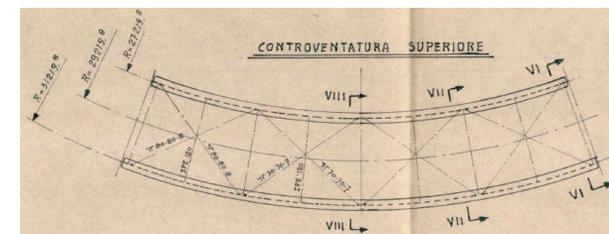


Reperimento materiale ed elaborati grafici

Tavole di progetto

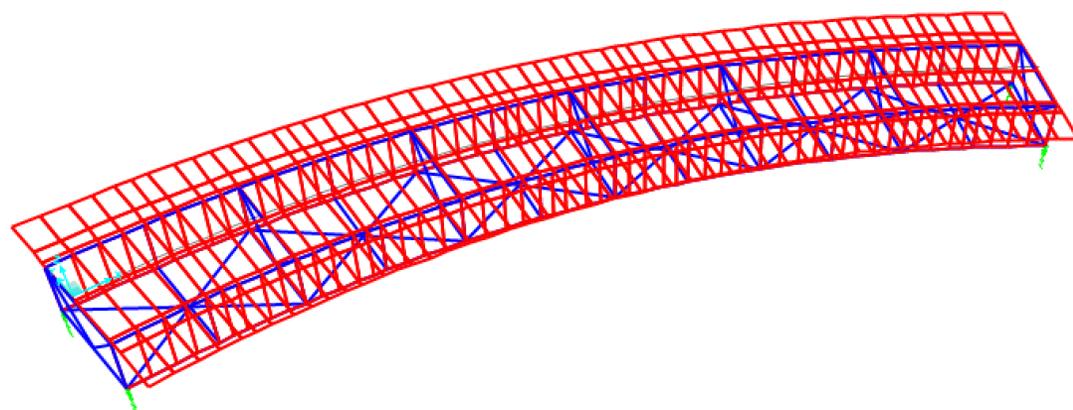


Planimetria campate tipo



Modello ad elementi finiti

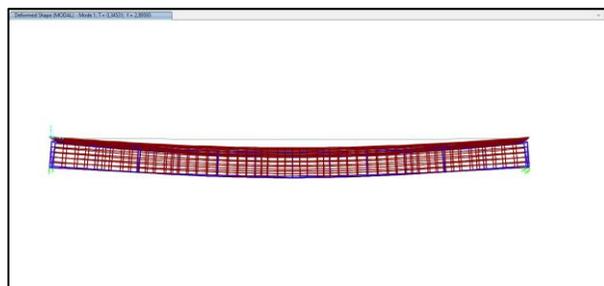
Modello FEM (Csi Bridge)



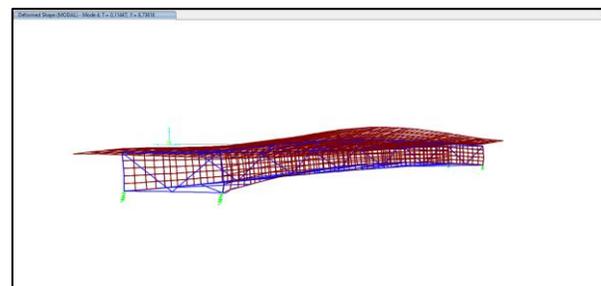
Frequenze naturali

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
	MODAL	Mode	1	0,345313	2,89592666...	18,1956438...	331,081456...
	MODAL	Mode	2	0,245506	4,07322849...	25,5928494...	654,993942...
	MODAL	Mode	3	0,125674	7,95709867...	49,9959254...	2499,59256...
	MODAL	Mode	4	0,114467	8,73615805...	54,8908999...	3013,01089...
	MODAL	Mode	5	0,111305	8,98435495...	56,4503670...	3186,64394...
	MODAL	Mode	6	0,086347	11,5811874...	72,7667469...	5294,99946...
	MODAL	Mode	7	0,074286	13,4614085...	84,5805245...	7153,86513...
	MODAL	Mode	8	0,069633	14,3610397...	90,2330736...	8142,00758...
	MODAL	Mode	9	0,065256	15,3242276...	96,2849619...	9270,79389...
	MODAL	Mode	10	0,064438	15,5187100...	97,5069310...	9507,60159...
	MODAL	Mode	11	0,055025	18,1735545...	114,187811...	13038,8562...
	MODAL	Mode	12	0,054632	18,3041454...	115,008337...	13226,9178...

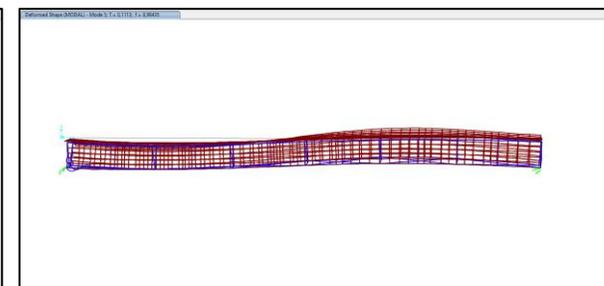
Principali forme modali



**Flessione
(modo 1)**



**Torsione
(modo 4)**



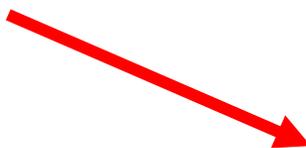
**Flessione a 2 ventri
(modo 5)**

Strumentazione

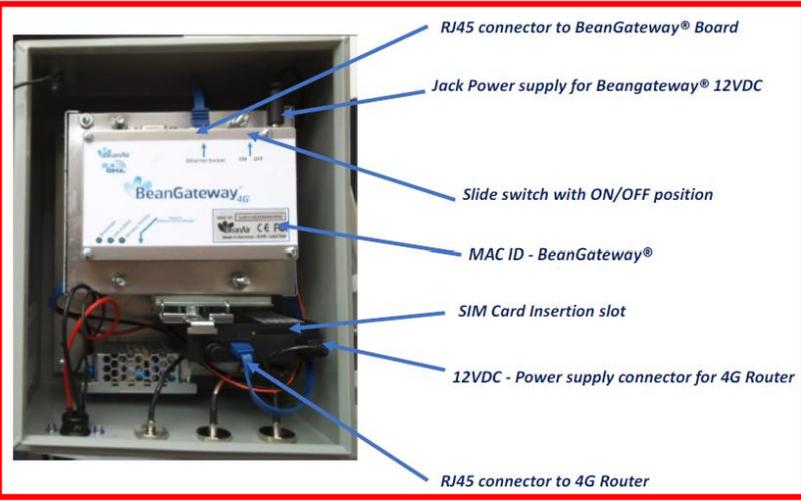
Main Features	
• Wireless Tri-axis accelerometer based on MEMS Technology	
• Measurement range (2 versions): ±2g & ±10g	
• Very Low noise Density:	
○ 45 µg/VHz (± 2g version)	
○ 100 µg/VHz (± 10g version)	
• TimeSync function: Time Synchronization through wireless sensor network	
• Watertight IP67 aluminum enclosure coming with a rugged base plate and three-point-mounting	
• Excellent radio link relying on the radio antenna diversity developed by Beanair®	
• Non-contact actuation for quick mounting	
• Maximum sampling rate: 3 KSPS	
• Maximum Radio Range: 500 m (L.O.S)	
• Ultra-Power radio technology IEEE 802.15.4	
• Current consumption in sleeping mode: < 30 µA	
• Embedded data logger: up to 8 million data points	
• OPC server allowing real time access from your IT system to the BeanScope® (available on BeanScope® Premium)	
• Entirely autonomous system with an integrated Lithium-ion battery charger	
• Anti-aliasing Butterworth filter (5 th order) with a cut-off frequency of 1 Hz to 2 KHz (remotely programmable from the BeanScope®)	
• Fully calibrated sensor	

Accelerazioni

8 x accelerometri wireless triassiali



Gateway per acquisizione wireless



- RJ45 connector to BeanGateway® Board
- Jack Power supply for Beangateway® 12VDC
- Slide switch with ON/OFF position
- MAC ID - BeanGateway®
- SIM Card Insertion slot
- 12VDC - Power supply connector for 4G Router
- RJ45 connector to 4G Router

Spostamenti



4 x sensori estensimetrici collegati tramite cavo a dispositivo wireless di trasmissione dati



Confronto accelerometri wireless e cablati

Accelerometri wireless triassiali



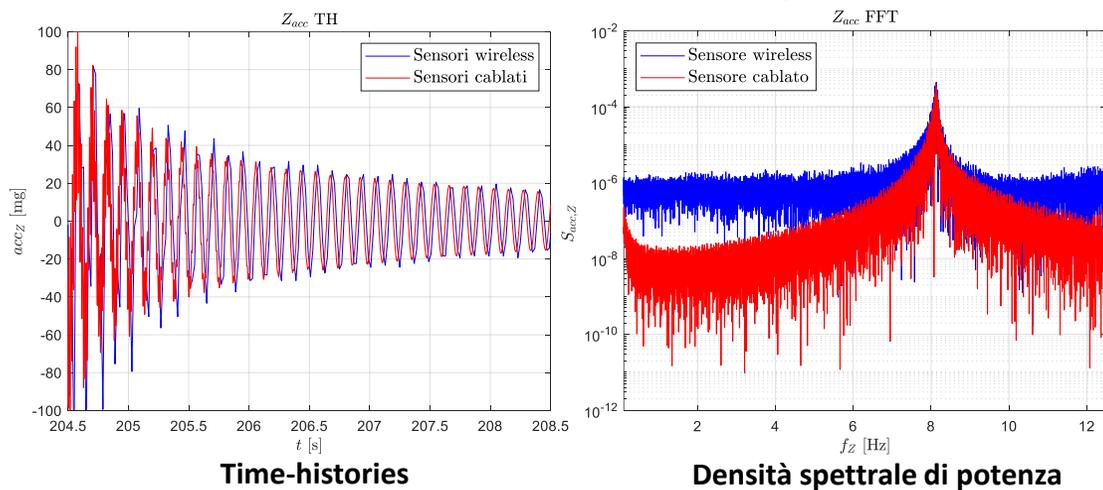
Accelerometri cablati monoassiali



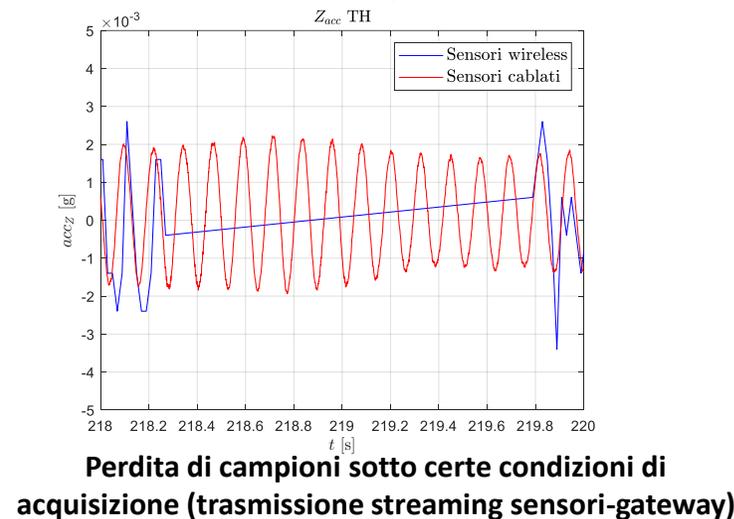
Sensori wireless:

- mostrano una maggiore energia legata al maggiore rumore di fondo
- manifestano una perdita di dati durante intervalli di tempo limitati

Confronto time-histories e spettri



Identificazione problemi



Task 3.2 – “Identificazione e aggiornamento del modello strutturale”

Prossimi passi

- Installazione rete di sensori wireless su campata ponte esistente
- Identificazione dinamica e monitoraggio dinamico dell’opera e di suoi componenti (**dispositivi antisollevamento**)
- Aggiornamento di modelli FEM con risultati prove dinamiche mediante approccio probabilistico
- Valutazione delle incertezze parametri modali con l’ausilio dei risultati delle prove dinamiche ottenuti con sensori cablati e **wireless**

Task 3.3 – “Valutazione formale della sicurezza”

Obiettivo generale

Ricalibrazione dei coefficienti di sicurezza per le verifiche strutturali secondo LLGG

Attività svolte UR UNIFI-DIDA

Obiettivo

- Definizione azione del vento e combinazione azioni vento-traffico

Metodologia

- Prove in galleria del vento per la stima dei coefficienti aerodinamici sugli impalcati affiancati:
 - Misure su intero impalcato (doppio) e impalcati singoli
 - Con e senza barriera
 - Con e senza traffico
- Confronto tra forze aerodinamiche ottenute in galleria del vento con quelle previste dal documento CNR sulle azioni del vento
- Simulazione vento turbolento per forze aerodinamiche su caso studio in presenza di traffico

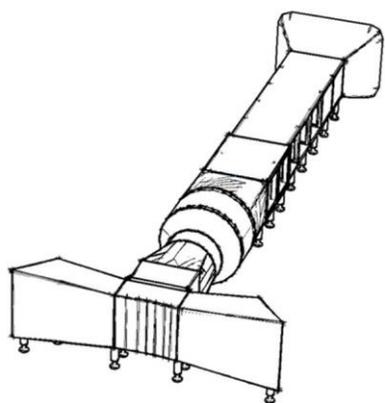
Forze aerodinamiche sugli impalcati da ponte (NTC)

$$F_D = q_p \cdot d \cdot C_D \quad \text{Drag}$$

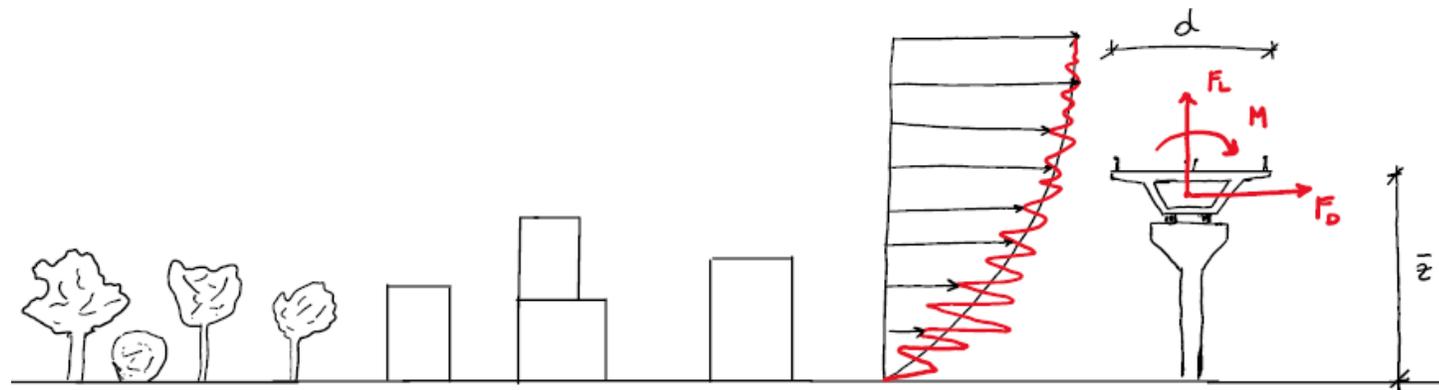
$$F_L = q_p \cdot d \cdot C_L \quad \text{Lift}$$

$$M = q_p \cdot d^2 \cdot C_M \quad \text{Momento}$$

Coefficienti aerodinamici



Prove in galleria del vento su modello sezione dell'impalcato



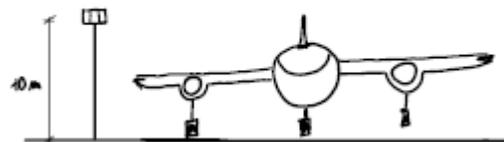
$$q_p(\bar{z}) = p_r \cdot c_e(\bar{z})$$

Pressione di picco

Pressione di riferimento

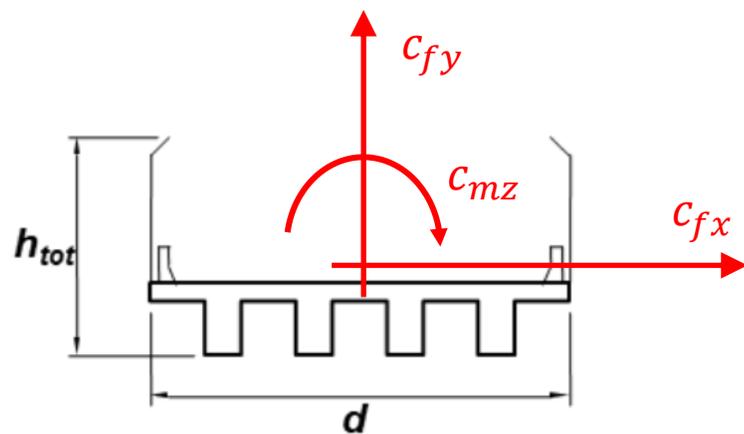
Coefficiente di esposizione

Profilo velocità media, classe di rugosità del sito, orografia



Statistiche registrazioni aeroporti e altitudine sito

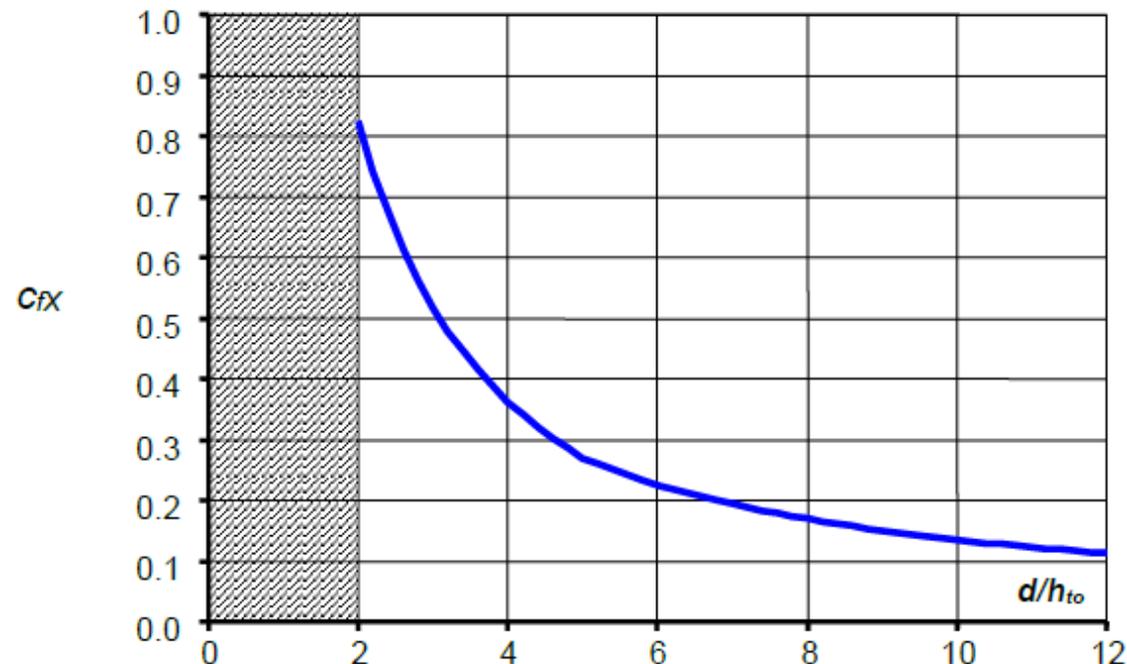
Coefficienti aerodinamici (CNR)



$$c_{fx} = \begin{cases} \frac{1,85}{d/h_{tot}} - 0,10 & 2 \leq d/h_{tot} \leq 5 \\ \frac{1,35}{d/h_{tot}} & d/h_{tot} > 5 \end{cases}$$

$$c_{fy} = \begin{cases} \pm \left(0,7 + 0,1 \frac{d}{h_{tot}} \right) & 0 \leq d/h_{tot} \leq 5 \\ \mp 1,2 & d/h_{tot} > 5 \end{cases}$$

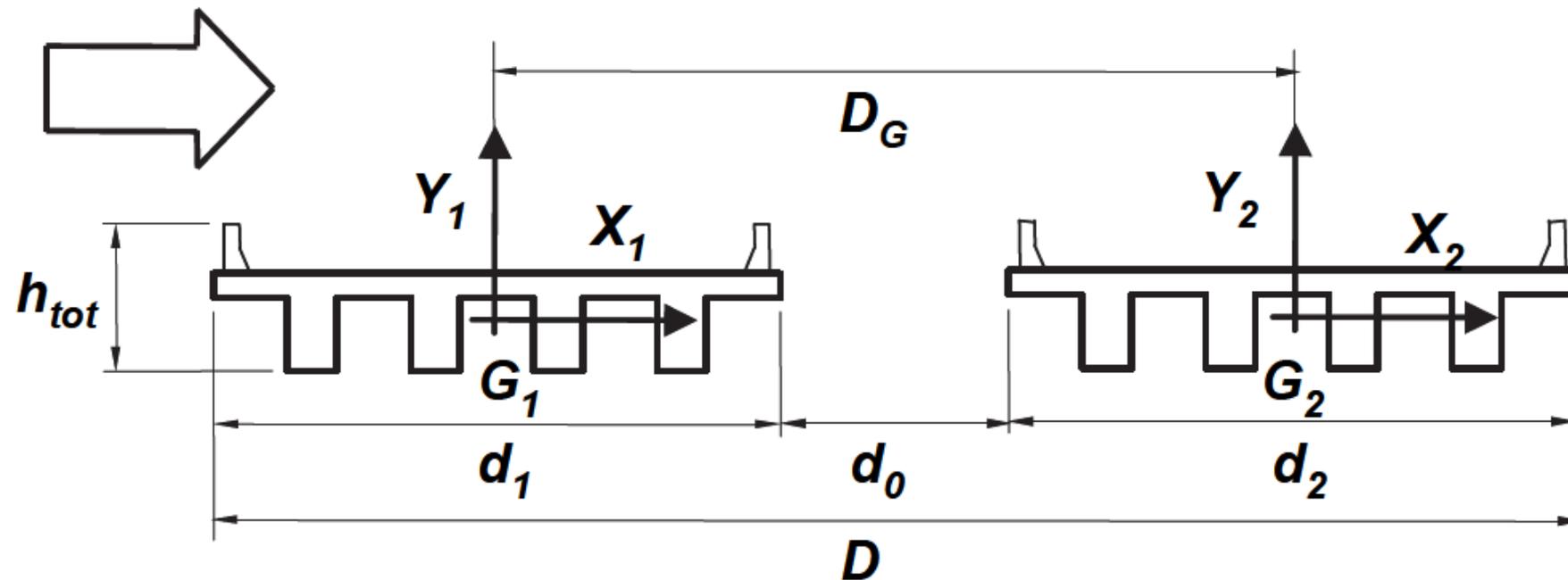
$$c_{mz} = \pm 0,2$$



- Spesso eccessivi per dimensionamento pile e strutture portanti (archi, ecc.)
- Non si definisce il segno del lift e del momento torcente

Coefficienti aerodinamici impalcati affiancati

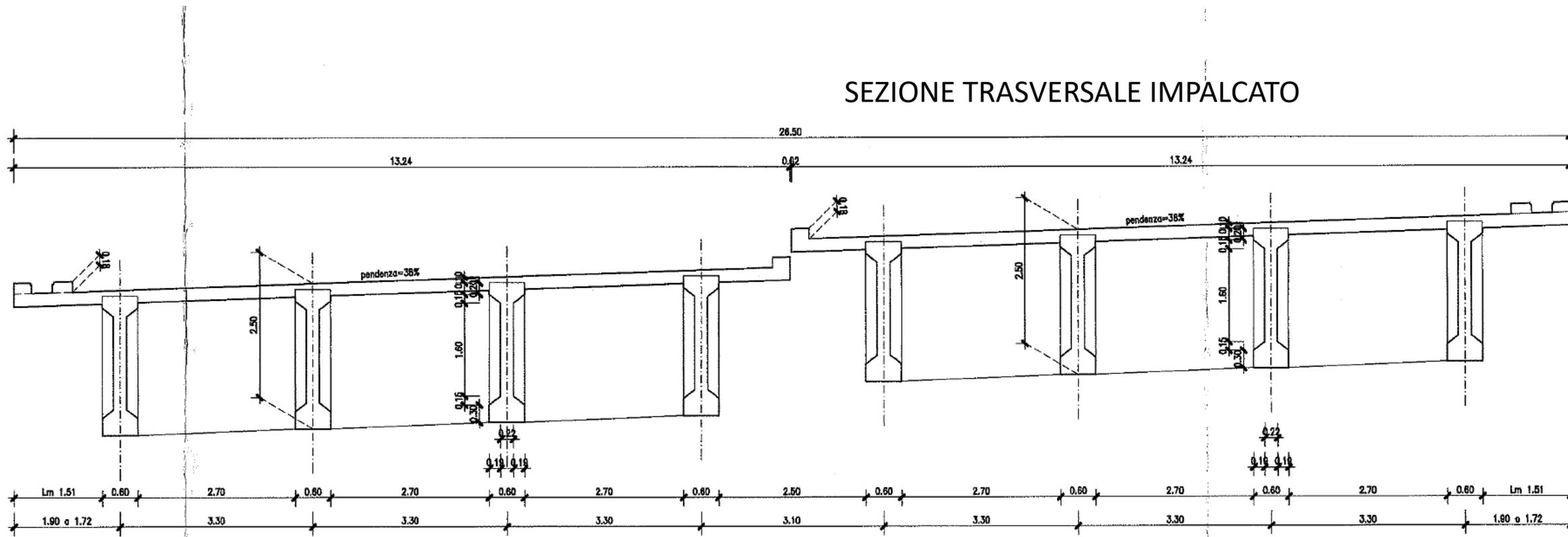
Nel caso di impalcati affiancati la normativa è ancora più carente



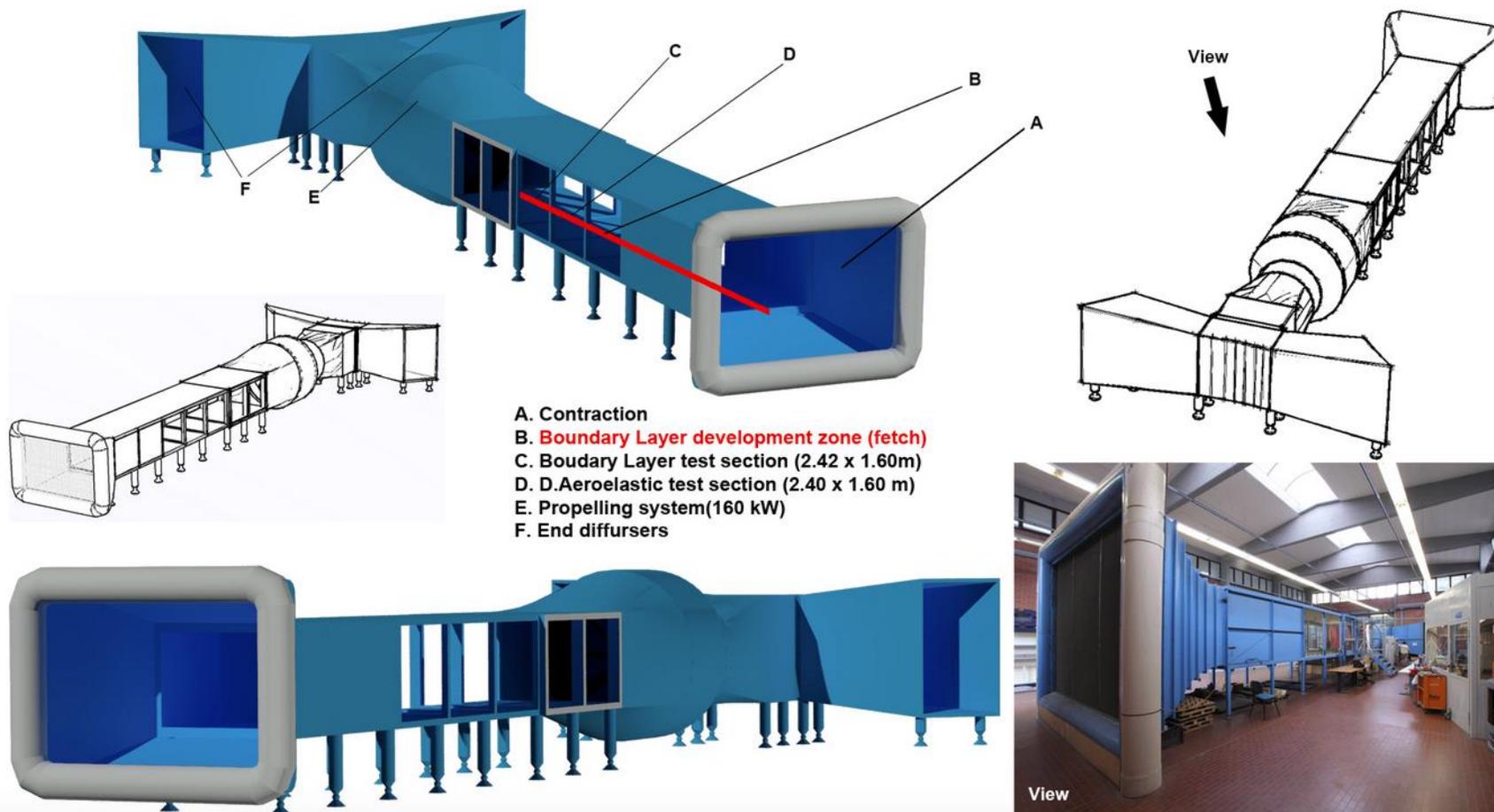
Caso studio: Miano-Agnano



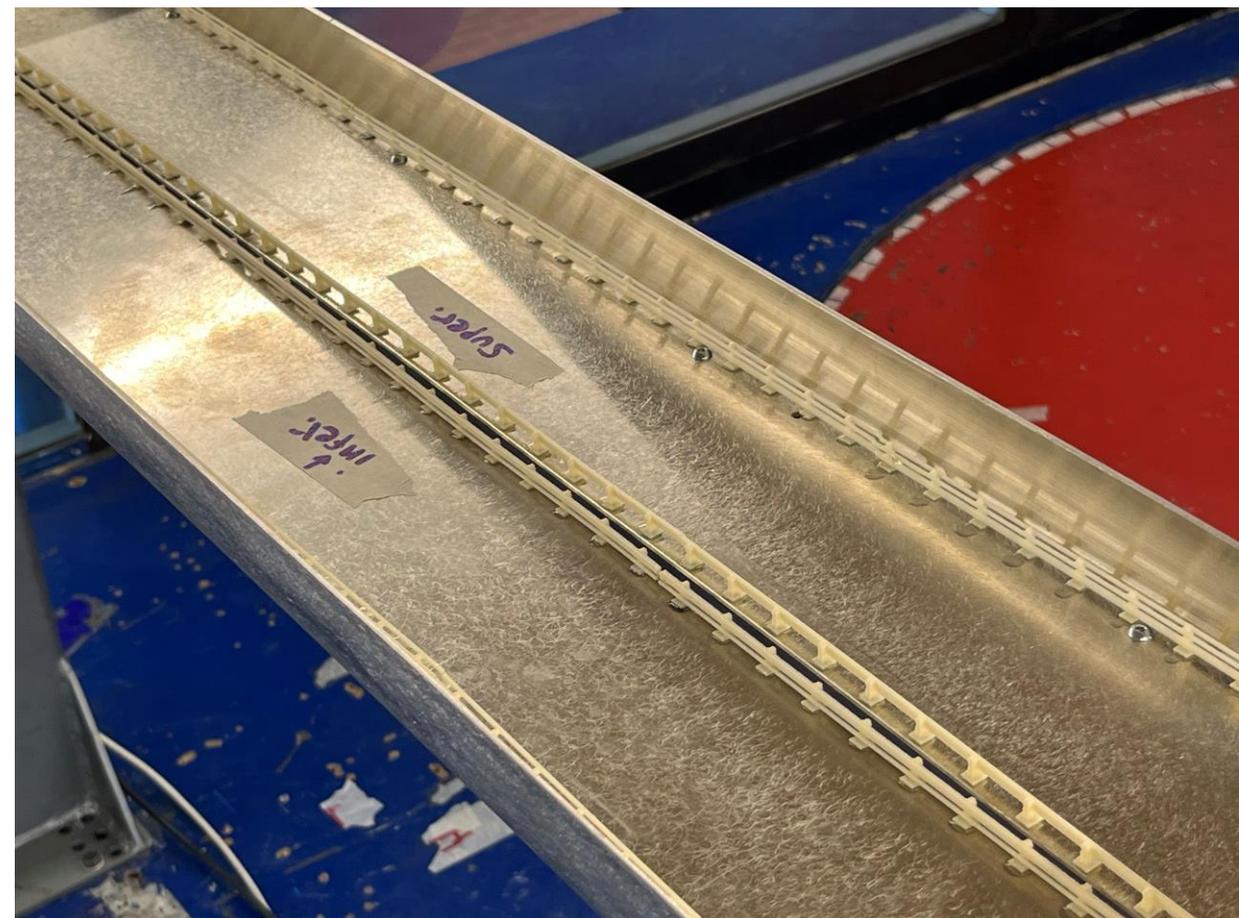
Caso studio: Miano-Agnano



Prove in galleria del vento

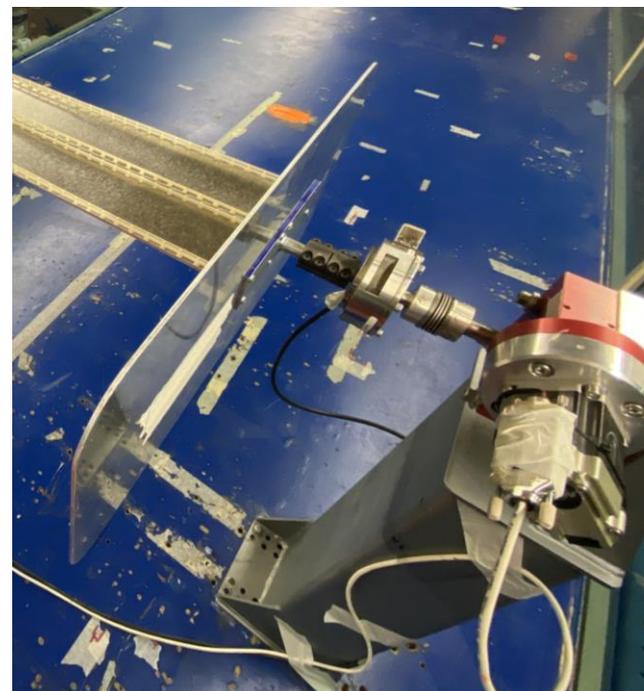
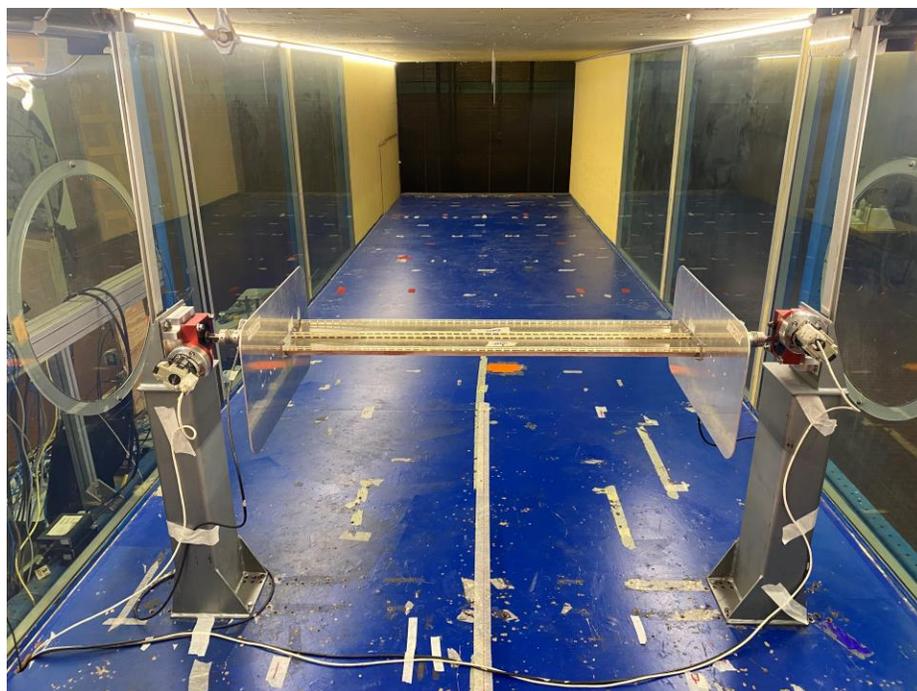
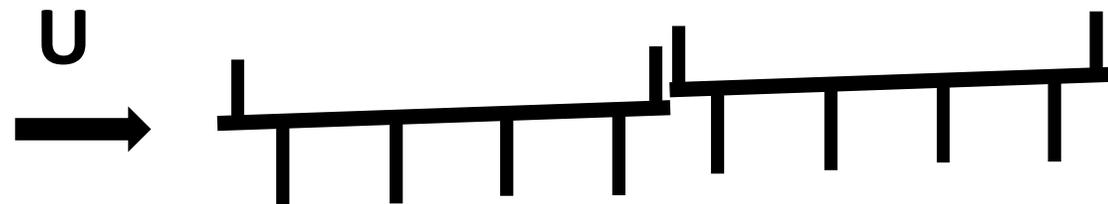


Modello in scala dell'impalcato



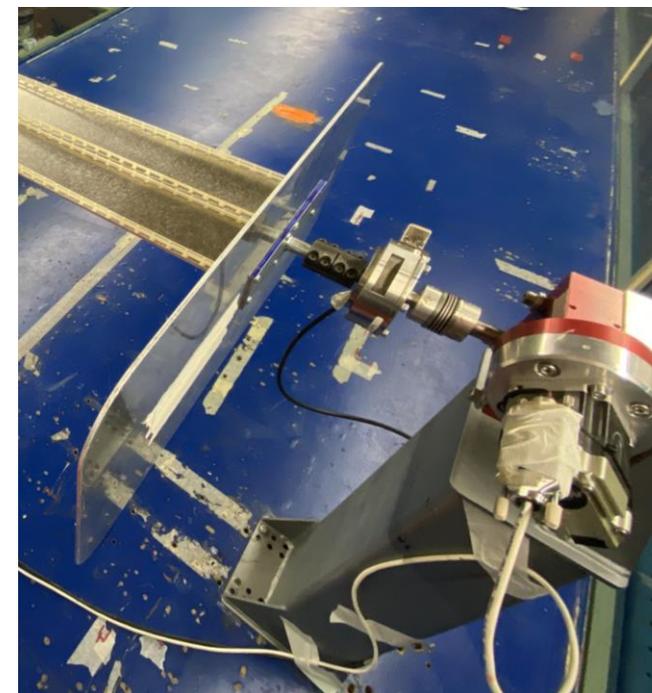
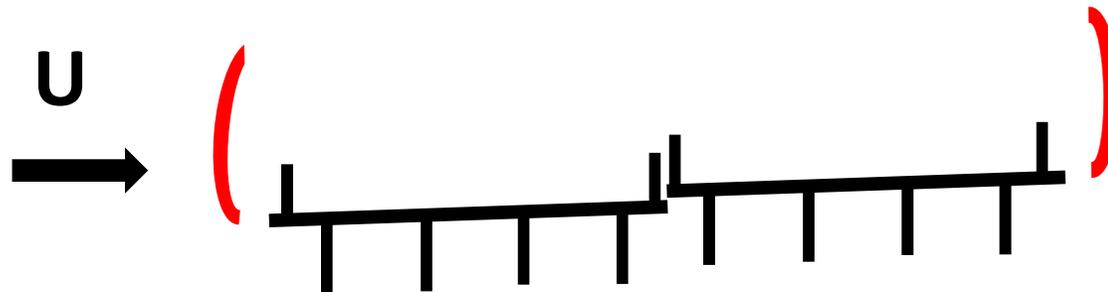
Configurazioni di prova: unico impalcato

# polare	Direzione vento	# impalcato misurati	Barriere antirumore	Camion imp. monte 1	Camion imp. monte 2	Angoli d'attacco
1	sx (inf)	2	NO	NO	NO	+15
2	sx (inf)	2	SI	NO	NO	+15
3	dx (sup)	2	NO	NO	NO	+15
4	dx (sup)	2	SI	NO	NO	+15
5	dx (sup)	2	NO	SI	NO	+5
6	dx (sup)	2	NO	SI	SI	+5



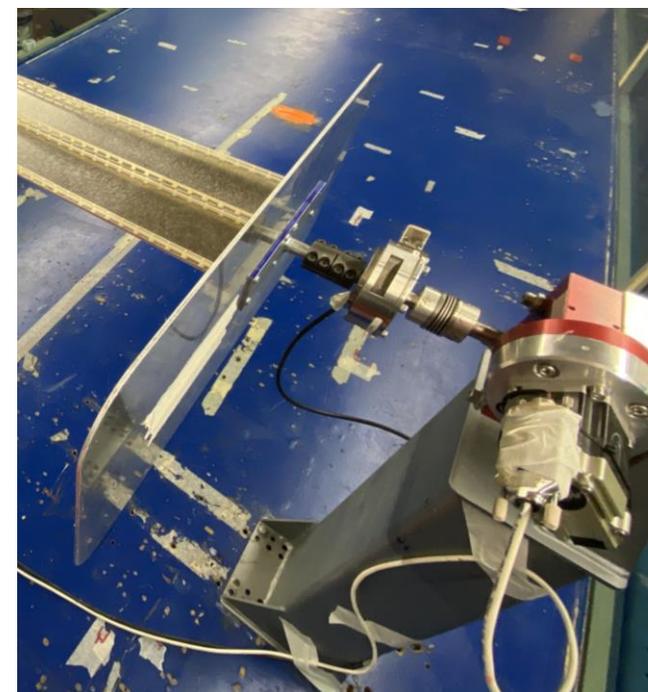
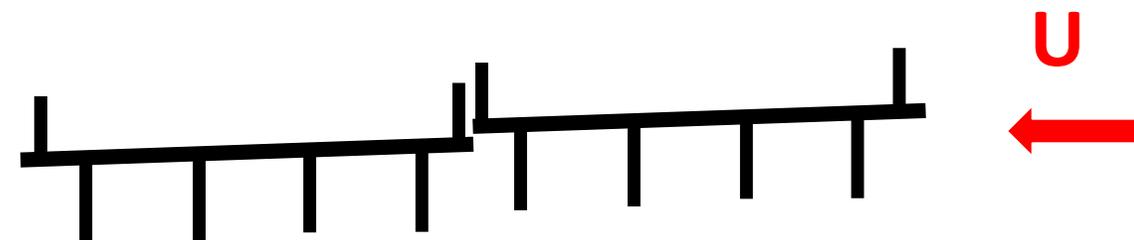
Configurazioni di prova: unico impalcato

# polare	Direzione vento	# impalcato misurati	Barriere antirumore	Camion imp. monte 1	Camion imp. monte 2	Angoli d'attacco
1	sx (inf)	2	NO	NO	NO	+15
2	sx (inf)	2	SI	NO	NO	+15
3	dx (sup)	2	NO	NO	NO	+15
4	dx (sup)	2	SI	NO	NO	+15
5	dx (sup)	2	NO	SI	NO	+5
6	dx (sup)	2	NO	SI	SI	+5



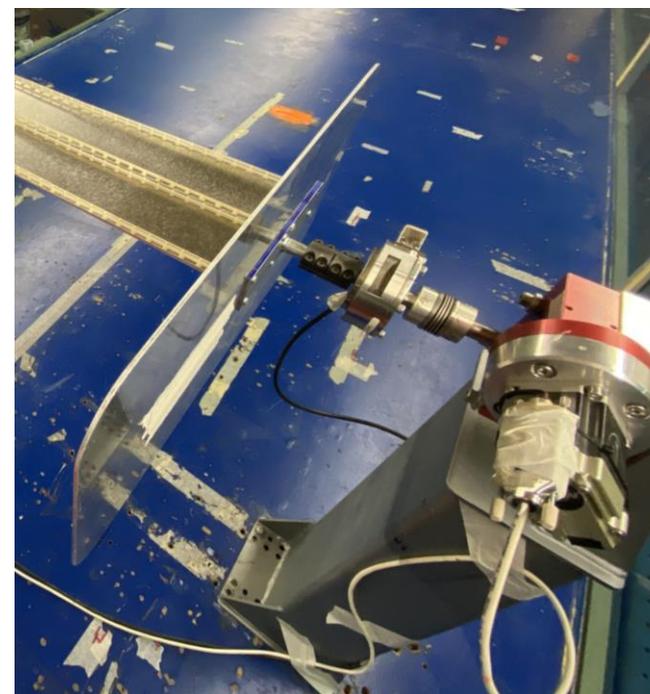
Configurazioni di prova: unico impalcato

# polare	Direzione vento	# impalcato misurati	Barriere antirumore	Camion imp. monte 1	Camion imp. monte 2	Angoli d'attacco
1	sx (inf)	2	NO	NO	NO	+15
2	sx (inf)	2	SI	NO	NO	+15
3	dx (sup)	2	NO	NO	NO	+15
4	dx (sup)	2	SI	NO	NO	+15
5	dx (sup)	2	NO	SI	NO	+5
6	dx (sup)	2	NO	SI	SI	+5



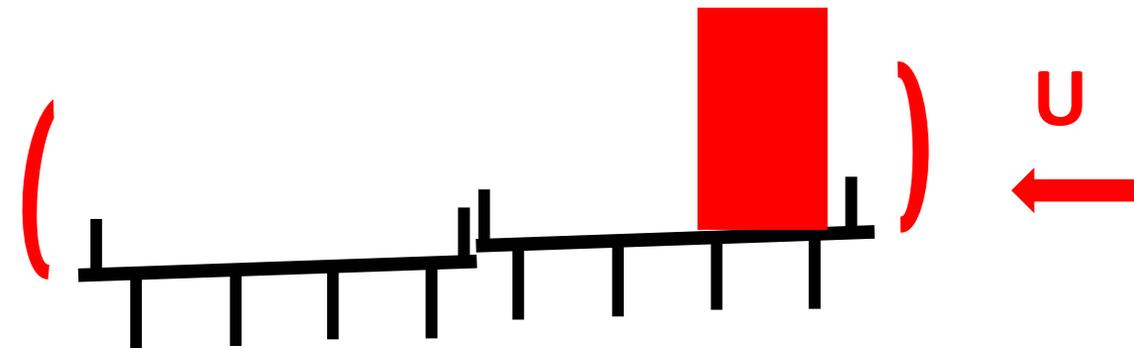
Configurazioni di prova: unico impalcato

# polare	Direzione vento	# impalcato misurati	Barriere antirumore	Camion imp. monte 1	Camion imp. monte 2	Angoli d'attacco
1	sx (inf)	2	NO	NO	NO	+/-15
2	sx (inf)	2	SI	NO	NO	+/-15
3	dx (sup)	2	NO	NO	NO	+/-15
4	dx (sup)	2	SI	NO	NO	+/-15
5	dx (sup)	2	NO	SI	NO	+5
6	dx (sup)	2	NO	SI	SI	+5



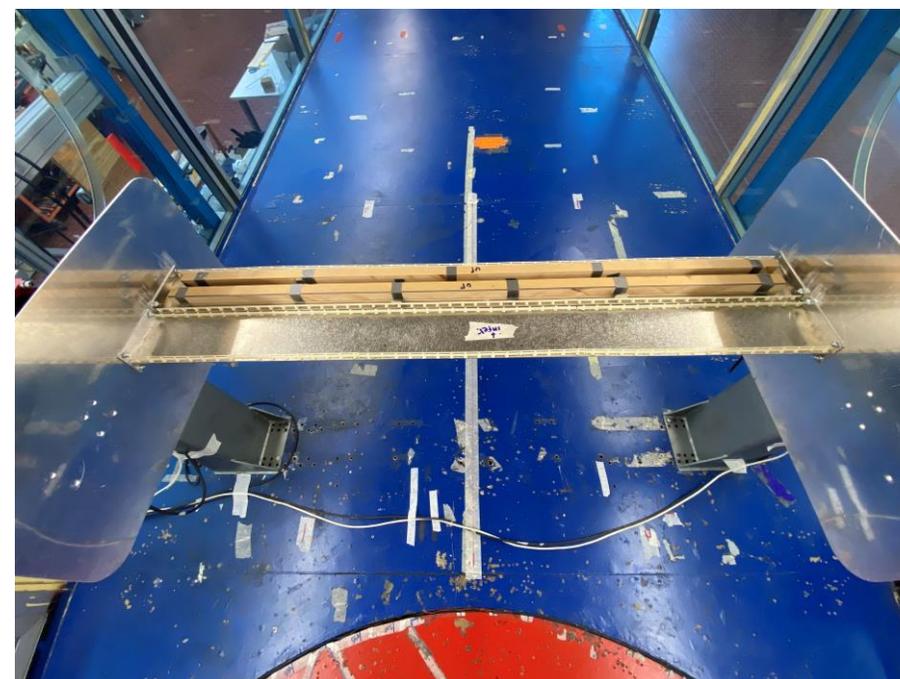
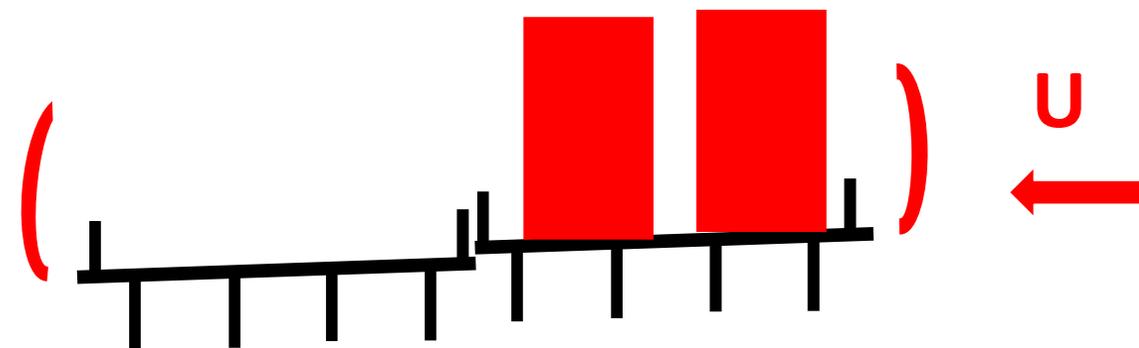
Configurazioni di prova: unico impalcato

# polare	Direzione vento	# impalcato misurati	Barriere antirumore	Camion imp. monte 1	Camion imp. monte 2	Angoli d'attacco
1	sx (inf)	2	NO	NO	NO	+15
2	sx (inf)	2	SI	NO	NO	+15
3	dx (sup)	2	NO	NO	NO	+15
4	dx (sup)	2	SI	NO	NO	+15
5	dx (sup)	2	NO	SI	NO	+5
6	dx (sup)	2	NO	SI	SI	+5

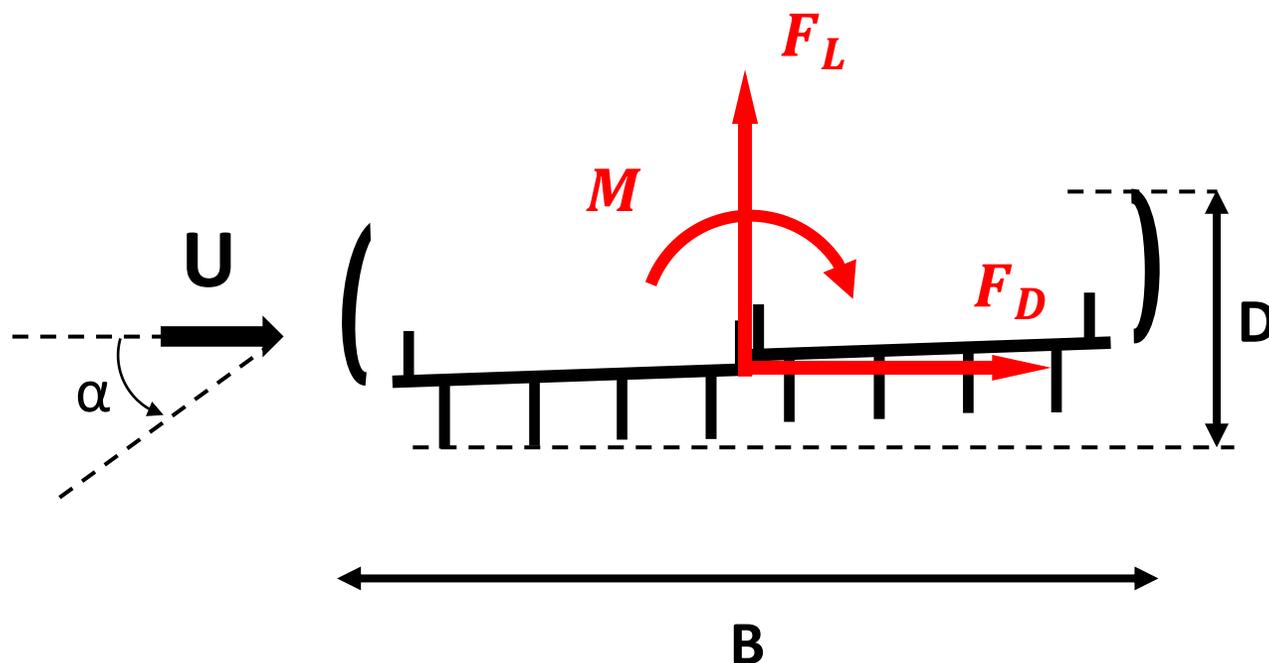


Configurazioni di prova: unico impalcato

# polare	Direzione vento	# impalcato misurati	Barriere antirumore	Camion imp. monte 1	Camion imp. monte 2	Angoli d'attacco
1	sx (inf)	2	NO	NO	NO	+15
2	sx (inf)	2	SI	NO	NO	+15
3	dx (sup)	2	NO	NO	NO	+15
4	dx (sup)	2	SI	NO	NO	+15
5	dx (sup)	2	NO	SI	NO	+5
6	dx (sup)	2	NO	SI	SI	+5



Convenzioni coefficienti aerodinamici impalcato



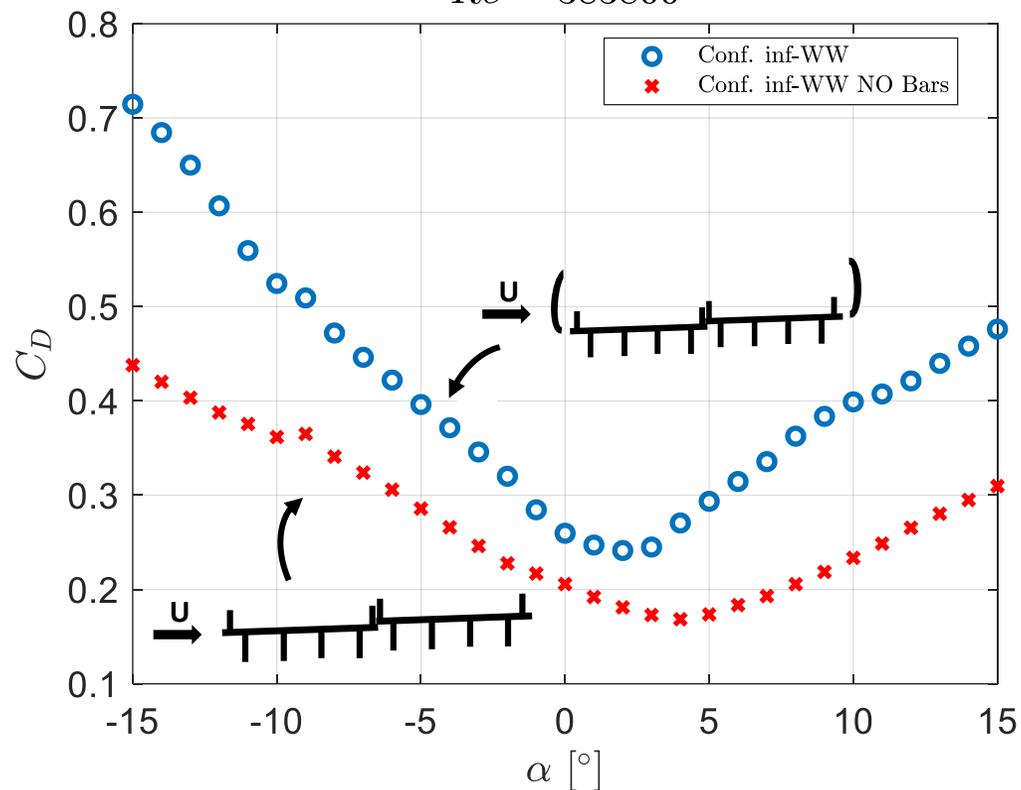
$$C_D(\alpha) = \frac{F_D(\alpha)}{\frac{1}{2} \rho U^2 B L}$$

$$C_L(\alpha) = \frac{F_L(\alpha)}{\frac{1}{2} \rho U^2 B L}$$

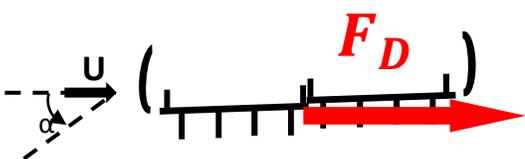
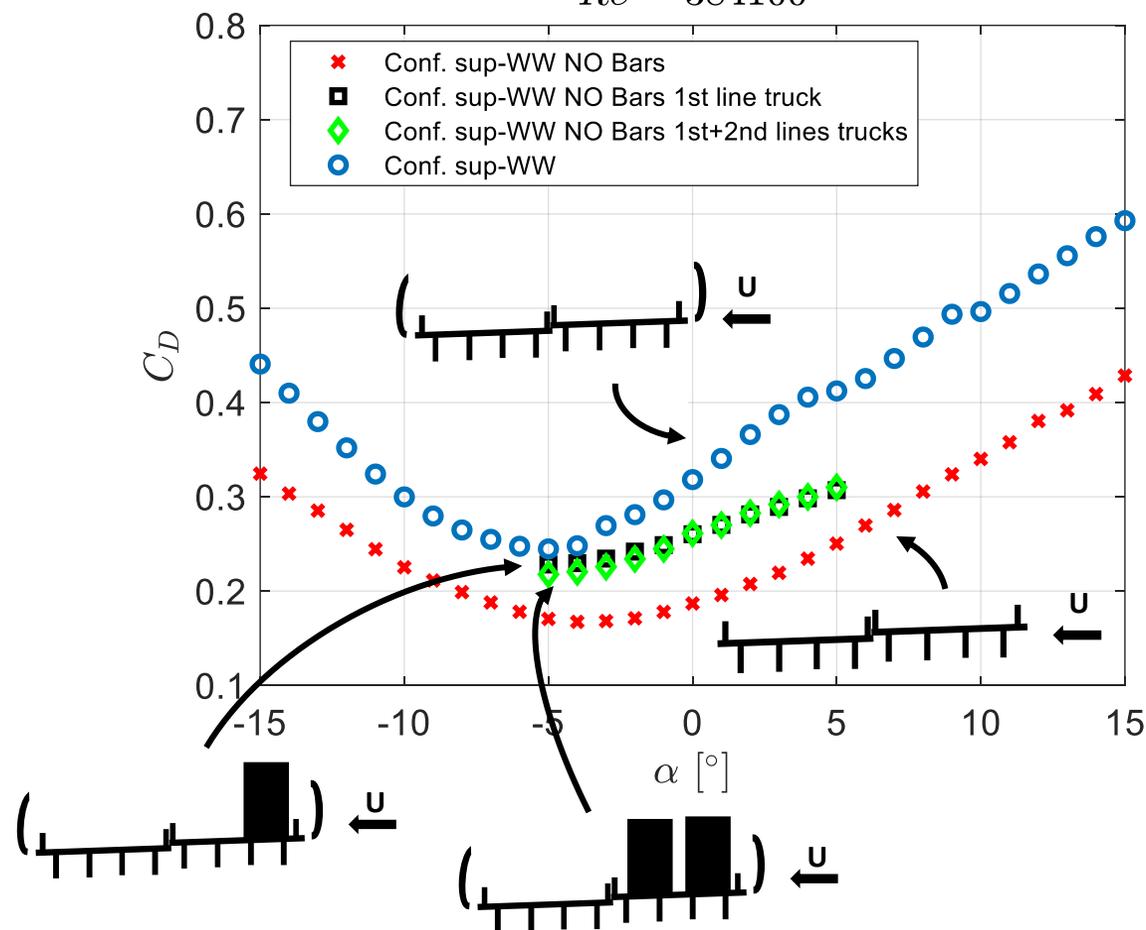
$$C_M(\alpha) = \frac{M(\alpha)}{\frac{1}{2} \rho U^2 B^2 L}$$

Coefficienti di drag impalcato unico

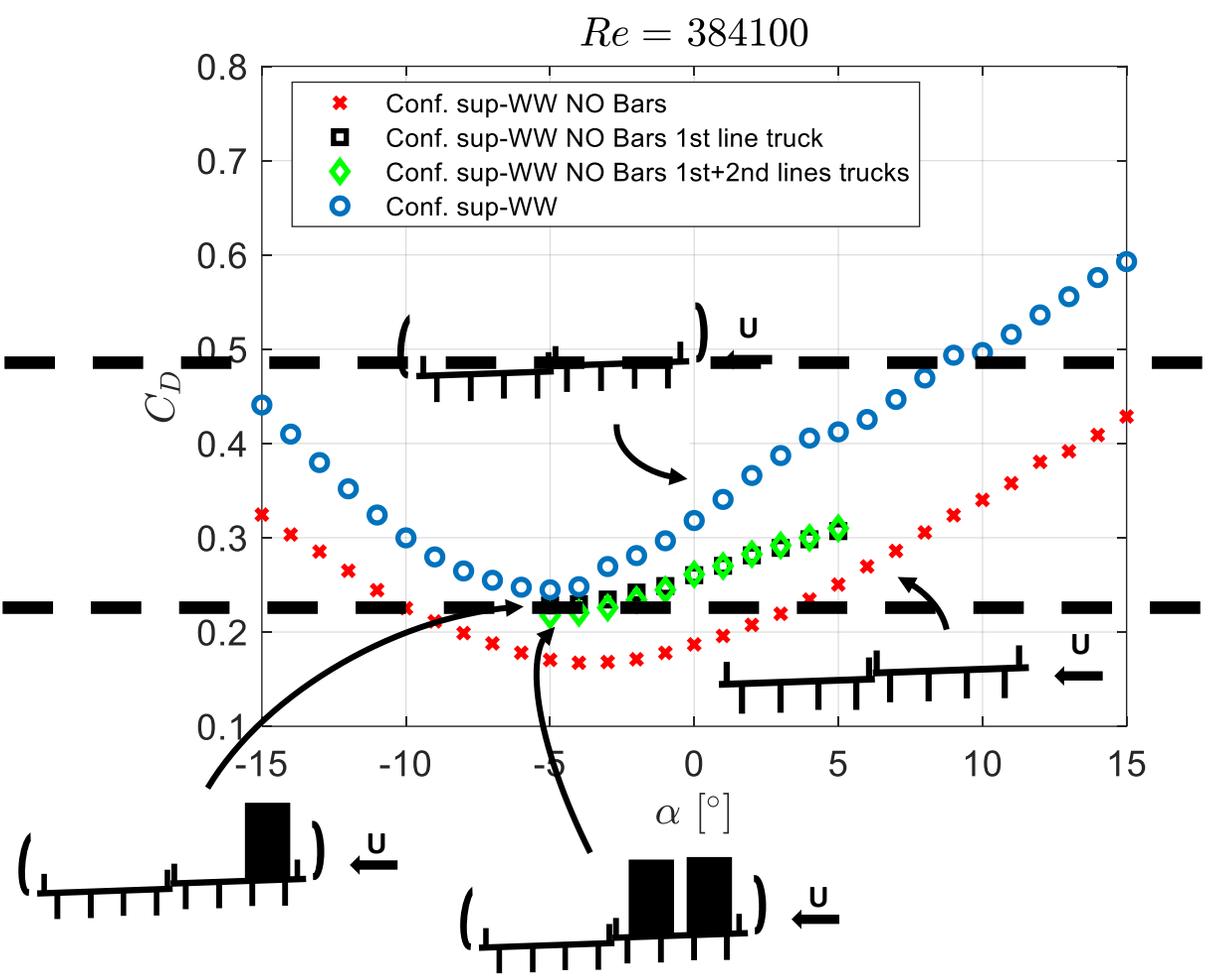
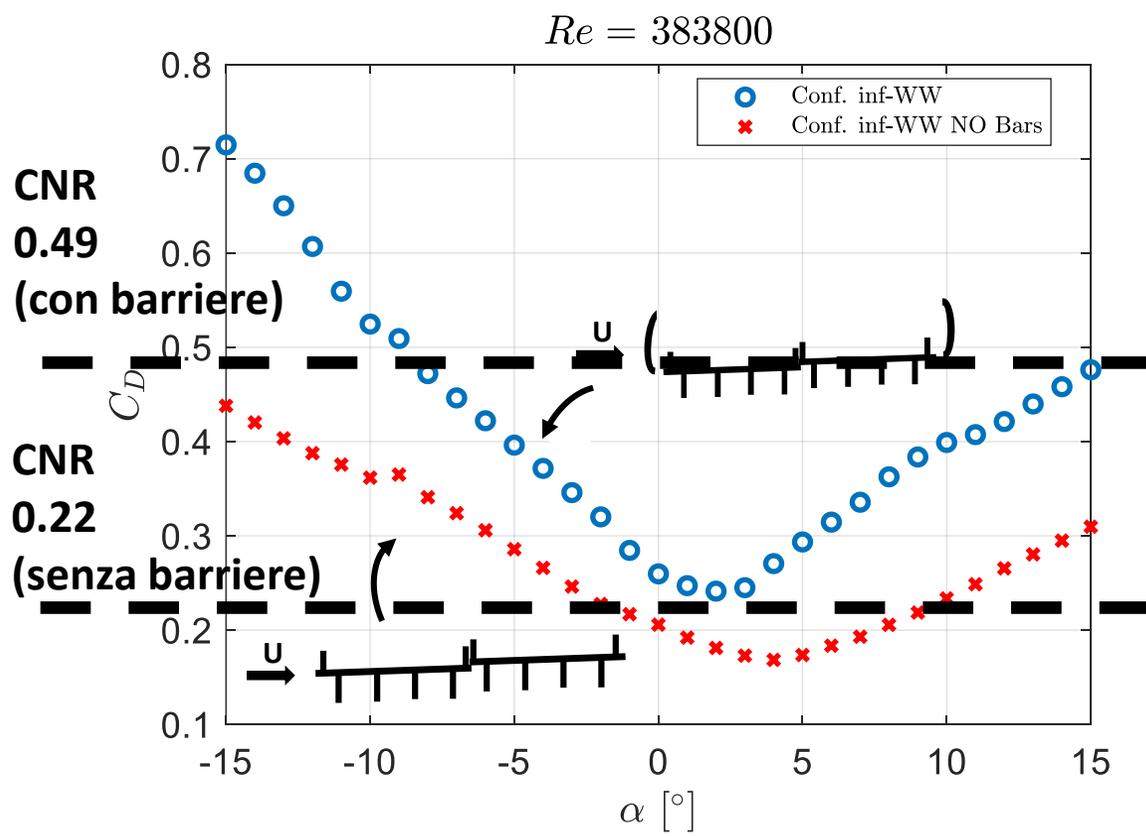
$Re = 383800$



$Re = 384100$



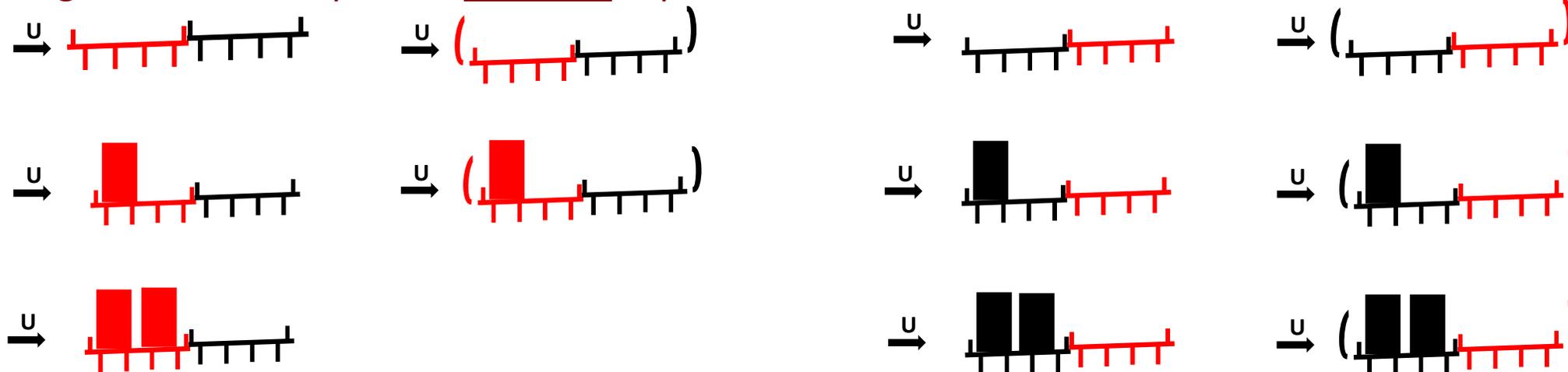
Coefficienti di drag impalcato unico



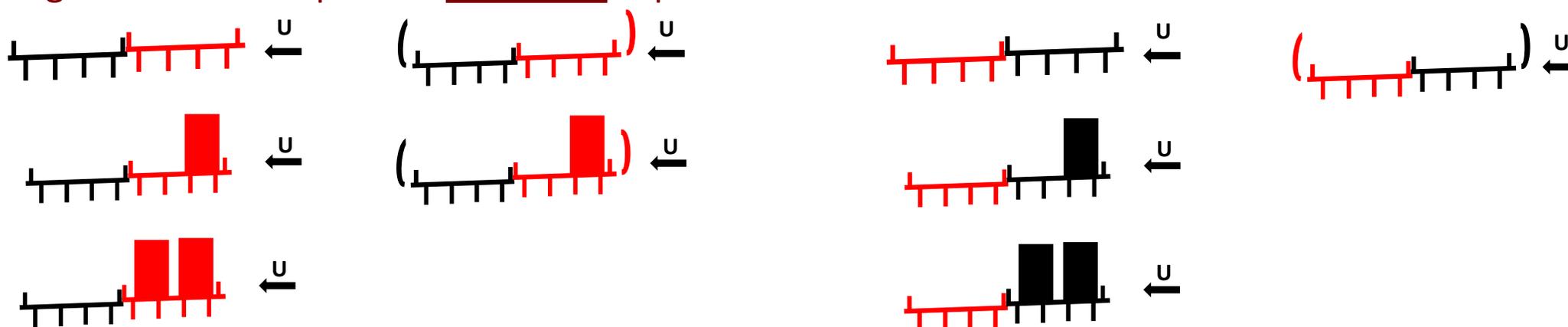
Sovrastima della forza di resistenza (drag), soprattutto nel caso di impalcato con barriere

Configurazioni di prova: singoli impalcati

11 configurazioni con impalcato inferiore sopravento:

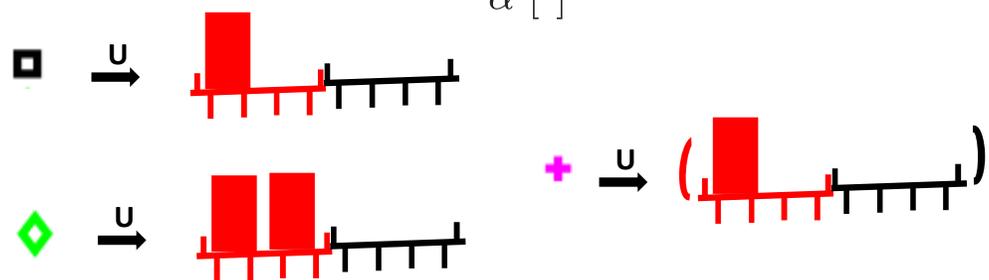
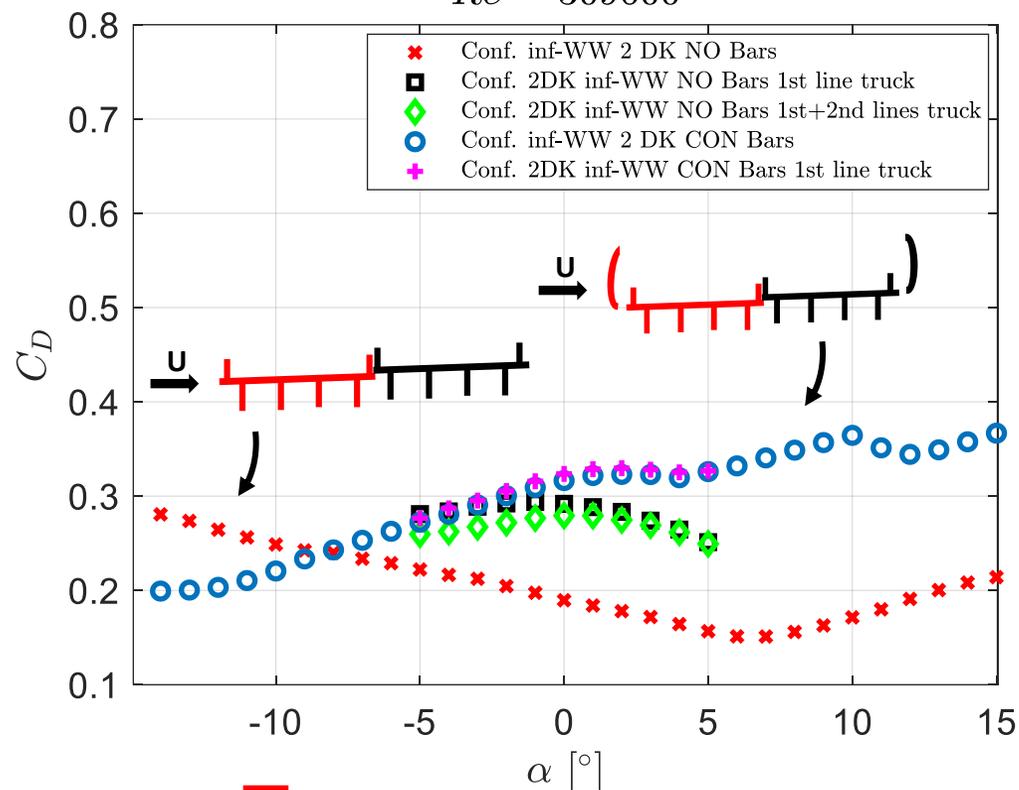


9 configurazioni con impalcato superiore sopravento:

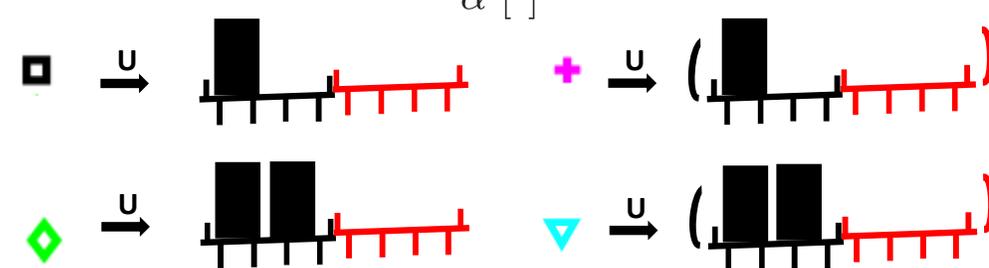
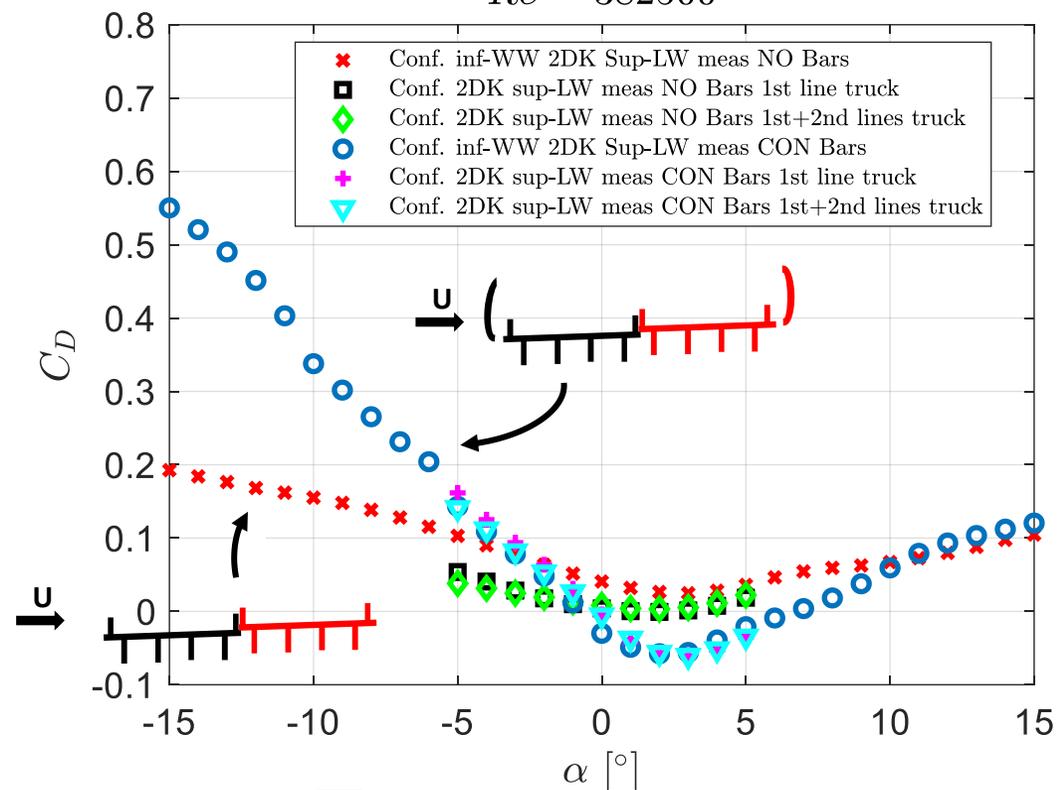


Coefficienti di drag singoli impalcati

$Re = 309600$



$Re = 382500$



Forze impalcati affiancati: CNR vs Galleria del vento

Per il caso di impalcati senza barriere antirumore e senza traffico:



	$C_D \cdot d$ impalcato a monte (m)	$C_D \cdot d$ impalcato a valle (m)	$C_L \cdot d$ impalcato a monte (m)	$C_L \cdot d$ impalcato a valle (m)
CNR	6.67	6.67	± 16.33	± 16.33
Galleria del vento $\alpha = 0^\circ$	5.17	1.12	-1.14	-4.08

Sovrastima importante delle azioni da parte delle CNR, soprattutto nella stima dell'azione di portanza (lift)

Combinazione carichi da vento e da traffico

- **CNR-DT 207 R1/2018:**

Quando l'azione del vento è assunta simultanea alla presenza di veicoli o convogli in transito, essa va scalata mediante opportuni coefficienti parziali, che tengano in conto la probabilità di occorrenza simultanea del vento di progetto e della presenza di traffico veicolare o ferroviario.

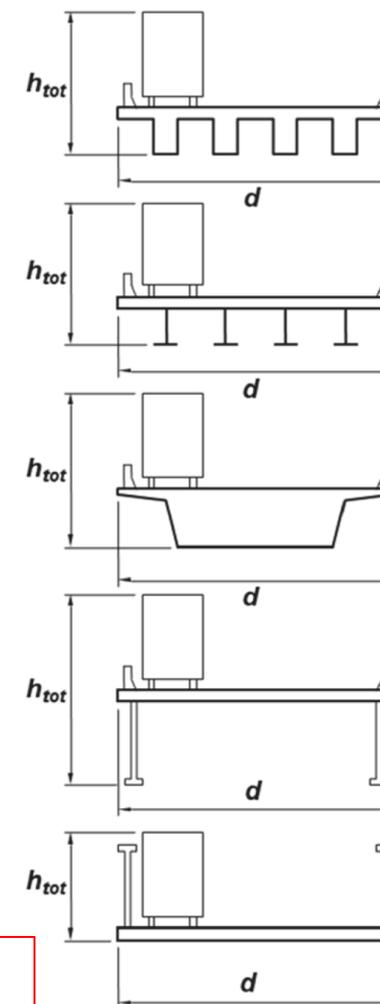
- **EN 1991-1-4:2005:**

Where road traffic is considered to be simultaneous with the wind (see A2.2.1 and A2.2.2 in Annex A2 to EN 1990) the combination value $\psi_0 F_{wk}$ of the wind action on the bridge and on the vehicles should be limited to a value F_w^* determined by substituting a value $v_{b,0}^*$ for the fundamental value of the basic velocity $v_{b,0}$.

NOTE The National Annex may give a value for $v_{b,0}^*$. The recommended value is 23 m/s.

$$\dots + 1,5 \cdot \min(0,6 \cdot F_{wk}, F_w^*)$$

CNR non affronta il problema – Eurocodice presenta un'inconsistenza nella definizione della forza in quanto suggerisce di sostituire $v_{b,0}^*$ (velocità che provoca ribaltamento dei camion) a $v_{b,0}$ che si riferisce alla quota di 10 m anziché a quella dell'impalcato



CONCLUSIONI

La letteratura e le norme sono carenti per quanto attiene la definizione dei coefficienti aerodinamici dell'impalcato;

Inoltre, le stime ottenute applicando le indicazioni CNR sovrastimano le azioni sia sull'impalcato isolato che affiancato;

Infine, la parte dell'EC relativa alla definizione dell'azione del vento in presenza del traffico richiede una correzione riguardo all'azione di ribaltamento esercitata dal vento



Grazie per l'attenzione