



Prove di carico statico: le prove sperimentali per eccellenza

Boviar è tra i protagonisti di un'infrastruttura emblematica e nevralgica, il Ponte San Giorgio a Genova, su cui a termine dei lavori è stata condotta una prova di carico che ha visto la creazione di una rete Mesh wireless con protocollo Digimesh per l'acquisizione delle deformazioni sotto carico impresso nelle diverse sezioni e campate del ponte.

Le prove di carico sono, forse quelle che da sempre affascinano gli Ingegneri, quelli - che le progettano, le costruiscono le disegnano per trovare una risposta sperimentale alle loro domande da progettisti. Posso collaudare? Resisteranno al carico? Come si comporterà? Dovrò cambiare qualcosa rispetto al progetto iniziale?

La **prova di carico** è la prova principe dell'Ingegnere nei ruoli che svolge durante tutta la vita della struttura dall'ideazione alla sua demolizione. La prova di carico può essere solo sperimentale non ha una Norma di riferimento precisa e dipende dalle *problematiche* che si presentano negli innumerevoli casi reali in campo. Ha bisogno di essere progettata, diretta e seguita; non ha una **procedura, iter scritti**, ma permette, al professionista, di utilizzare le sue conoscenze ed esperienze nella ricerca di soluzioni che provano la struttura secondo un disegno preciso. La capacità di fondere insieme conoscenza, esperienza e ricerca!

Sede amministrativa
Casoria (NA) 80026
via G. Puccini 12/a
T +39 081 7583566
F +39 081 7587857

Sede legale
Lainate (Mi) 20020
via Rho 56
T +39 02 93799240
F +39 02 93301029



www.boviar.com
info@boviar.com

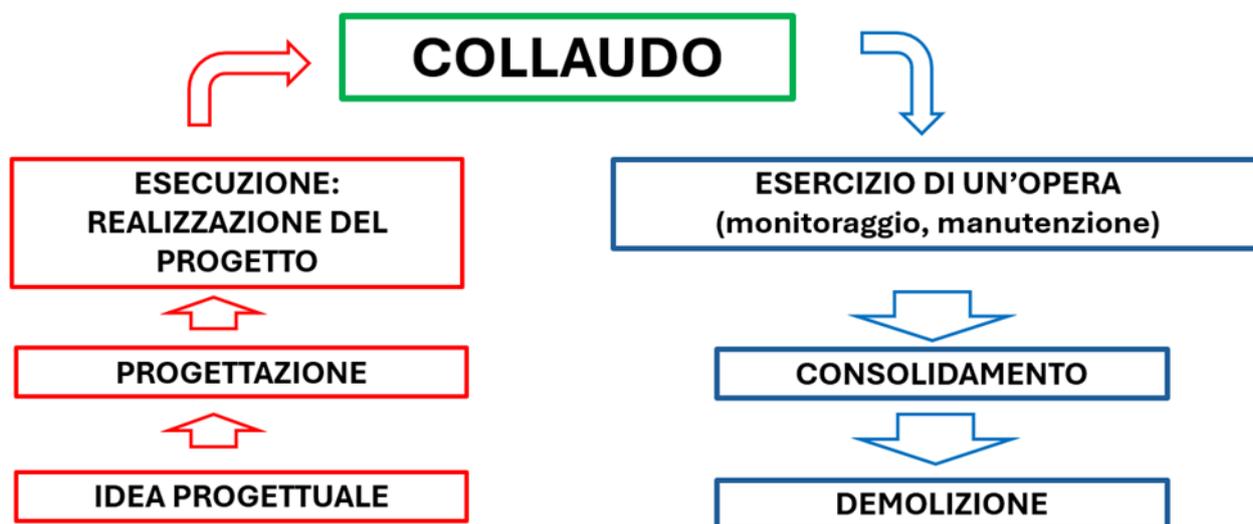


Figura 1 – Il processo costruttivo ed il ruolo della sperimentazione strutturale: la conoscenza dell'opera e la capacità di sfruttarne, in sicurezza, i componenti

La prova di carico è forse la prova più rappresentativa dell'ingegnere, in quanto definisce il termine di un percorso partito dalla progettazione fino alla sua realizzazione. La prova di carico di fatto suggella la fine e la messa in esercizio di un impalcato. La finalità di questa prova è quella di renderne tangibile e leggibile il comportamento meccanico, espresso in termini di sollecitazioni e deformazioni.

La prova di carico è richiamata all'art. 6 della legge 1086/1971, quale metodo di collaudo statico in corso d'opera ovvero quale accertamento utile formarsi il convincimento della sicurezza dell'opera:

«A strutture ultimate, entro il termine di 60 giorni, il direttore dei lavori depositerà al genio civile una relazione, in duplice copia, sull'adempimento degli obblighi di cui all'articolo 4, esponendo:

- a) *i certificati delle prove sui materiali impiegati emessi da laboratori di cui all'articolo 20;*
- b) *per le opere in conglomerato armato precompresso, ogni indicazione inerente alla tesatura dei cavi ed ai sistemi di messa in coazione;*
- c) *l'esito delle eventuali **prove di carico**, allegando le copie dei relativi verbali firmate per copia conforme"».*

Le più recenti Ntc18, stabiliscono infatti che nelle responsabilità del collaudatore è previsto quanto segue:

- Esaminare il progetto dell'opera, l'impostazione generale della progettazione dei suoi aspetti strutturali e geotecnico, gli schemi di calcolo e le azioni considerate.
- Esaminare le indagini eseguite nella fase di progettazione costruzione.

- Esaminare la relazione a strutture ultimate del direttore lavori.

Nell'ambito della propria discrezionalità, il Collaudatore potrà richiedere di effettuare tutti quegli accertamenti, studi, indagini, sperimentazione e ricerche, utili per formarsi il convincimento della sicurezza della durabilità e della collaudabilità dell'opera quali in particolare la **prova di carico**.



Figura 2 - Schermata della CENTRALINA PORTATILE PER PROVE DI COLLAUDO T-TEST K12 Sw K12 di Boviari
[\(https://www.boviar.com/it/prodotti/t-test-k12/\)](https://www.boviar.com/it/prodotti/t-test-k12/)

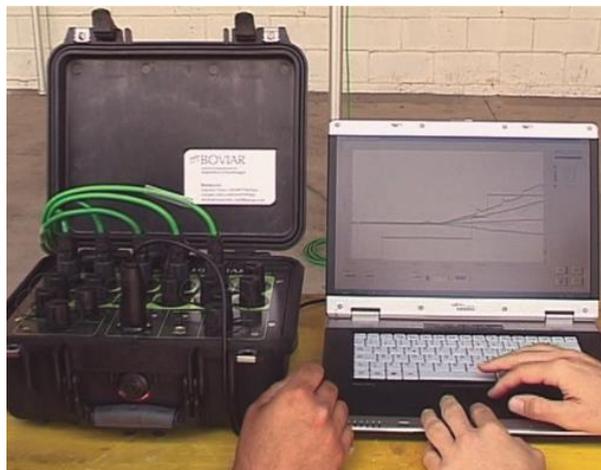


Figura 3 - Centralina portatile per prove di collaudo T-TEST K12 Sw K12 di Boviar

Prove di carico statico: soluzioni Boviar

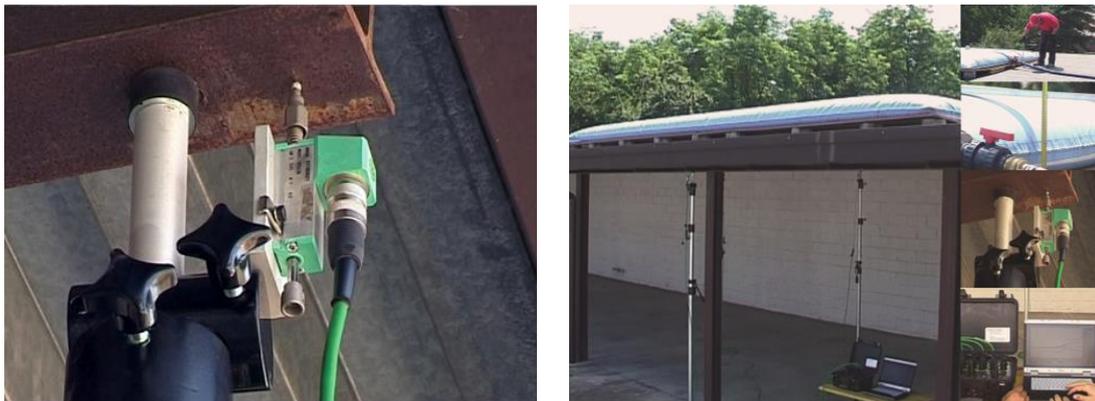
La prova di carico: metodologia e strumentazione

La prova di carico consiste essenzialmente nella misura della freccia di una parte della struttura quando sottoposta a carichi noti e tutto si riassume in un grafico tipo σ/ϵ espresso in funzione del tempo

Tale metodologia di prova, vista la sua finalità, è volta nel caso dell'esistente ad individuare il carico di esercizio in funzione di una deformazione ammissibile corrispondente alla differente tecnologia costruttiva (**Figura 4**) dove è riportato lo schema di prova di carico condotto su una copertura piana in tecnologia laterocemento). Due, quindi, gli elementi fondamentali atti a definire la prova di carico:

1. La **lettura degli spostamenti**, correlati quindi alla freccia teorica funzione a sua volta delle condizioni al contorno, ovvero delle condizioni di vincolo.

2. Il **carico applicato all'impalcato**, sia esso di un fabbricato o di un'infrastruttura.



Tendenzialmente, le strutture in c.a. sono molto rigide, e quindi spostamenti misurabili richiedono carichi veramente elevati. Per questo motivo la prova di carico viene usualmente eseguita sui solai che, essendo le strutture più deformabili, possono essere interessati da spostamenti misurabili con carichi relativamente limitati. Questo non esclude che, in circostanze di particolare importanza, sia opportuno eseguire prove di carico sulle travi.

- a) **Prova con carico distribuito** mediante il riempimento di appositi serbatoi di dimensioni variabili, che vengono stesi sul solaio e riempiti d'acqua fino al raggiungimento del carico desiderato. Altre soluzioni come i sacchi di cemento o i secchi da riempire con acqua sono più articolati da realizzare e meno precisi.
- b) **Prova a carico concentrato**: la soluzione corrisponde all'allestimento di uno o più martinetti idraulici che trasmettono il carico per contrasto al solaio oggetto di esame. (necessario verificare preventivamente che le strutture usate come contrasto non vengano danneggiate dalle spinte esercitate dai martinetti)
- c) Per elementi di grande luce come le coperture di **infrastrutture sportive** sono utilizzati i sacconi/palloni sospesi. Per le **Infrastrutture viarie**, come ad esempio un ponte: si utilizzano mezzi pesanti ed autoarticolati.

I carichi devono essere sempre noti con ragionevole precisione, **nel caso di nuova costruzione devono corrispondere a quelli progettuali.**

Gli strumenti di misura sono usualmente dei flessimetri centesimali (comparatori centesimali montati su adeguati supporti e con agganci idonei alle prove di carico, precisione $\pm 1/100$ mm).ma oggi molto più comunemente vengono scelti sistemi automatici con trasduttori elettrici. Quando la struttura sia di dimensioni elevate (specialmente nel caso di ponti) la misurazione delle frecce può avvenire mediante triangolazioni topografiche (precisione ± 1 mm). La precisione dello strumento di misura è funzione degli

spostamenti attesi: la freccia di un solaio attesa è dell'ordine di 50/100 mm, mentre quella di un ponte può essere anche di diversi centimetri.

Un aspetto fondamentale della prova di carico corrisponde ai tempi di attesa dei carichi per ogni incremento di carico che devono essere tali da garantire la stabilizzazione della freccia. Nel caso siano previsti tempi di attesa lunghi, tali da determinare una variazione della temperatura ambiente superiore ai 3°C, è necessario prevedere uno strumento di misura in una parte della struttura non interessata dal carico.

Le strumentazioni impiegate nella prova di carico devono possedere un certificato di taratura emesso in data non anteriore ad un anno dall'esecuzione della prova.

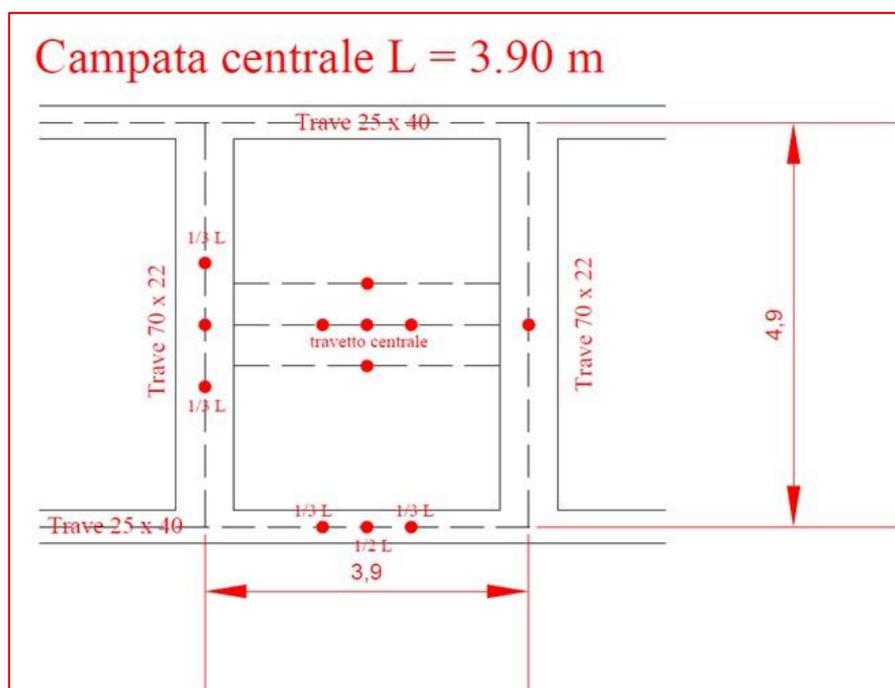


Figura 4 – Schema di prova di carico condotta su un impalcato laterocemento dove i trasduttori di spostamento sono stati posizionati in corrispondenza del punto rosso rispettivamente sul travetto e sulle travi di perimetro (parallela e perpendicolare all'orditura del solaio). Con la linea tratteggiata è invece indicato l'asse dell'elemento oggetto di monitoraggio degli spostamenti.



Figura 5 – Sovrapposizione di due serbatoi

È onere del professionista e del laboratorio di prova autorizzato ai sensi dell’art. 59 del d.P.R. 380/01 a definire sia lo schema di carico sia gli step di carico e scarico a cui sottoporre l’impalcato fino al raggiungimento del carico di esercizio. L’applicazione dei cicli di carico e scarico è fondamentale per riscontrare eventuali deformazioni residue. Tempi e modalità devono essere indicati in un’opportuna relazione metodologica.

Boviar e le consorelle Sunta e SoftCap forniscono sia gli elementi atti a simulare il carico di esercizio applicato all’elemento, nel caso di sacconi, serbatoi e sistemi idraulici automatici e non, sia la strumentazione di monitoraggio e lettura delle deformazioni dell’elemento soggetto ad una determinata entità di carico applicato.



Figura 6 - Serbatoi S per il collaudo di un traghetto

Sede amministrativa
 Casoria (NA) 80026
 via G. Puccini 12/a
 T +39 081 7583566
 F +39 081 7587857

Sede legale
 Lainate (Mi) 20020
 via Rho 56
 T +39 02 93799240
 F +39 02 93301029



ASSOCIATION



www.boviar.com
info@boviar.com

Applicazione del carico: serbatoi e sacconi tipo S

Come anticipato, due sono gli elementi che definiscono la prova di carico di tipo statico: l'acquisizione degli spostamenti e l'applicazione del carico di esercizio. Quello che qui viene presentato è il saccone e serbatoio per il collaudo di solai ideato per essere impiegato come contenitore di carico per le prove dei solai e altre strutture portanti.

Il [saccone](#) è costituito da tessuto sintetico ad alta resistenza impermeabilizzato con elastomeri ed assemblati con saldature a caldo secondo le Norme UNI, questi sacconi sono completi di cinghie di dimensioni adatte al carico che devono sopportare. Sono disponibili in capacità fino a 10.000 Kg e si possono sospendere anche a grappolo alla struttura da collaudare. Per la misurazione del carico si possono utilizzare sia dei conta-litri che delle celle di carico.



Invece il [serbatoio flessibile tipo S](#), con pianta rettangolare, è costruito in tessuto poliestere extraforte rivestito con elastomeri. Il serbatoio è dotato di valvola per il carico/scarico dell'acqua e di uno sfiato dell'aria.

È possibile ripiegare il serbatoio, da uno o più lati per ottenere una sezione inferiore. L'altezza dell'acqua nel serbatoio (che determina il carico) può variare fino ad un massimo di 84 cm per un carico di 750 Kg/mq.

Per ottenere carichi sino ad un massimo di 1200 Kg/mq si possono sovrapporre due serbatoi. Una volta terminate le prove vengono vuotati attraverso valvola di scarico di fondo ed arrotolati per l'immagazzinamento. Ancora oggi le imitazioni presenti sul mercato non sono riuscite ad eguagliare la qualità e praticità di questo articolo.



Figura 7 - Collaudo degli spalti di uno Stadio di calcio

Sede amministrativa
 Casoria (NA) 80026
 via G. Puccini 12/a
 T +39 081 7583566
 F +39 081 7587857

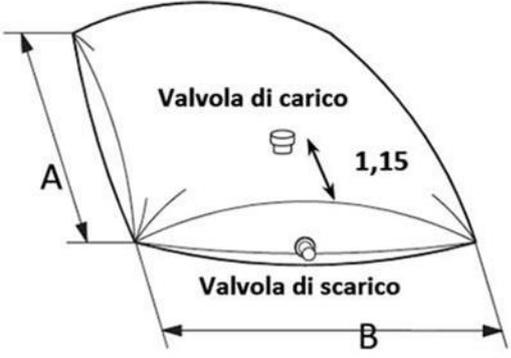
Sede legale
 Lainate (Mi) 20020
 via Rho 56
 T +39 02 93799240
 F +39 02 93301029



ASSOIMPIANTI



www.boviar.com
info@boviar.com

	DIMENSIONE A X B (M)		(MQ) SEZIONE BASE (1)	(MC) CAPACITÀ S
	4 x 2	8	6.0	
4 x 3	12	9.0		
4 x 4	16	12.0		
5 x 2	10	7.5		
5 x 3	15	11.3		
5 x 4	20	15.0		
5 x 5	25	18.8		
6 x 2	12	9.0		
6 x 3	18	13.5		
6 x 4	24	18.0		
6 x 5	30	22.5		
6 x 6	36	27.0		

CARICO IN FUNZIONE DELL'ALTEZZA ACQUA E DELLA SUPERFICIE NOMINALE DELLA SEZIONE DI APPOGGIO DI UN SERBATOIO						
ALTEZZA H (CM)	20	40	60	75	80	84
CARICO (KG/MQ)	200	400	580	700	730	750

*Specifiche e norme soggette a cambiamento senza preavviso.

Figura 8 - Schema 1: Tabella dimensioni – Capacità serbatoi modello S

Sede amministrativa
 Casoria (NA) 80026
 via G. Puccini 12/a
 T +39 081 7583566
 F +39 081 7587857

Sede legale
 Lainate (Mi) 20020
 via Rho 56
 T +39 02 93799240
 F +39 02 93301029



www.boviar.com
 info@boviar.com

Letture delle deformazioni e/o spostamenti: centralina T-Test K12

La centralina impiegata per il collaudo statico del ponte, il **T-Test K12**, è una unità di acquisizione dati a 16 canali complessivi, portatile, da integrare con un notebook per l'acquisizione, la visualizzazione e la registrazione in tempo reale di dati provenienti da prove sorvegliate eseguite in campo con sensori di spostamento, di pressione o di carico. Boviar propone sistemi automatici di lettura dal 1997 con i sistemi FBM.

Nel caso del collaudo del ponte, si è trattato di un'applicazione particolare ed unica perché è stata creata una vera e propria rete wireless di acquisitori che contemporaneamente e in tempo quasi-reale hanno inviato i dati dei 30 sensori ad un Pc collettore, collegato ai monitor nella Sala Controllo. I grafici costruiti in automatico dal software a corredo dei T-Test venivano sorvegliati e controllati dai tecnici ed i responsabili di Anas.



Figura 9 – T-Test K12 unità di acquisizione dati a 16 canali complessivi da integrare con un pc per l'acquisizione, la visualizzazione e la registrazione in tempo reale, di dati provenienti da prove sorvegliate eseguite in campo con sensori di spostamento e di pressione o di carico.

Con T-Test e la nuova centralina dinamica portatile pd-Das di prossimo rilascio, la gamma di Boviari offre un completo ventaglio di possibilità di utilizzo da un collegamento cablato normale con sensori di vario tipo, di forza e di spostamento, a un collegamento wireless tra sensore e centralina.

Sede amministrativa
Casoria (NA) 80026
via G. Puccini 12/a
T +39 081 7583566
F +39 081 7587857

Sede legale
Lainate (Mi) 20020
via Rho 56
T +39 02 93799240
F +39 02 93301029



ASSO



www.boviar.com
info@boviar.com



Possono invece, come nel caso del Ponte San Giorgio (nel seguito descritto) essere collegati in wireless le centraline con i sensori cablati. Ciò significa che, se si hanno diverse campate o una campata molto lunga di cui devo controllare più sezioni ho la possibilità di installare un solo impianto con diversi sotto-sistemi. Il campionamento può essere pseudo-statico (1 Hz con T-Test e può arrivare anche a 500Hz con la pd-Das).

Un caso applicativo particolare: il collaudo del nuovo Ponte di San Giorgio a Genova

Boviar ha fornito la strumentazione necessaria per il controllo degli spostamenti indotti dal carico durante le fasi di collaudo. Si è trattato di un'**applicazione particolare ed unica** perché è stata creata una vera e propria rete wireless di acquisitori che contemporaneamente e in tempo quasi-reale hanno inviato i dati dei 30- 50 sensori ad un Pc collettore, collegato ai monitor nella Sala Controllo. I grafici costruiti in automatico dal software a corredo dei T-Test venivano sorvegliati e controllati dai tecnici ed i responsabili di Anas. In quell'occasione Boviar ha fornito 12 centraline **T-Test-K12** nella versione wireless e 50 trasduttori di spostamento centesimali, a seconda della tipologia e della lunghezza in prova sono state collegate da 5 a 11 centraline e da un minimo di 30 ad un max di 50 sensori.



Sede amministrativa
Casoria (NA) 80026
via G. Puccini 12/a
T +39 081 7583566
F +39 081 7587857

Sede legale
Lainate (Mi) 20020
via Rho 56
T +39 02 93799240
F +39 02 93301029



ASSO



www.boviar.com
info@boviar.com



Estensione della prova di carico	Sulla lunghezza intera della struttura, il cui impalcato in acciaio è costituito da una travata continua di 1067 metri con 18 pile in cemento armato e 19 campate.
Durata della prova di carico	3 giorni
Tipologia di carico applicato	Per gli 11 test di tipo statico sono stati utilizzati 56 camion da 46 tonnellate e "4 carrelloni speciali" per le prove sulla rampa di innesto con l'autostrada A7-
Acquisizione Boviar	Portatile e collegamento a un numero elevato di sensori. I moduli wireless inseriti nello strumento hanno consentito la creazione di una rete Mesh wireless con protocollo Digimesh, in grado di coprire le distanze in gioco, che, nel punto più lontano di esecuzione della prova, erano dell'ordine dei 900 metri, in quanto la sala di controllo per la gestione degli impianti e del sofisticato sistema del monitoraggio installato su ponte, è collocata in un fabbricato tecnologico vicino alla galleria Coronata.
Tipologia di sensore	I sensori forniti appartengono alla serie "TR", ovvero sono trasduttori di spostamento potenziometrici, con corse da 0 a 50 mm ed ottima precisione, montati su appositi supporti che hanno consentito di alloggiare il sensore proprio sotto l'appoggio. I trasduttori di tipo potenziometrico della serie "TR" sono forniti di tastatore, molle calibrate di ritorno, cavo di collegamento alla centralina e certificato di taratura.
Dato acquisito	Deformazioni degli appoggi posti fra le pile e l'impalcato del ponte (a travata continua).

A luglio 2020, dopo aver analizzato i risultati delle prove di carico, di tipo statico e dinamico, effettuate sul nuovo Ponte di Genova San Giorgio, Anas ha rilasciato il certificato di collaudo statico.

Ponte San Giorgio: il sistema wireless e il protocollo DIGIMESH

Vista l'estensione del campo di prova del ponte San Giorgio, era tassativamente necessario che il sistema di acquisizione degli spostamenti avesse le seguenti peculiarità:

- Portatile;
- Collegabile ad un numero elevato di sensori;
- Un sistema in grado di coprire grandi distanze e superare, nella trasmissione del dato, gli elementi strutturali interposti tra le stazioni di rilevamento ed il sistema ricevente.

Proprio per questo il sistema è stato fornito in versione wireless, cosa che ha reso possibile la connessione alla "control room" del ponte in versione non cablata. I moduli wireless inseriti nello strumento hanno consentito la creazione di una rete Mesh wireless con protocollo **DIGIMESH** (*Il protocollo Digimesh della DIGI, consente di creare delle reti Mesh di tipo Peer to Peer (ovvero senza coordinatori) in cui la rete ha solo un tipo di nodo. In qualità di rete omogenea, tutti i nodi possono indirizzare i dati ed essere interscambiabili*), in grado di coprire le distanze in gioco, che, nel punto più lontano di esecuzione della prova, erano dell'ordine dei 900 metri, in quanto la sala di controllo per la gestione degli impianti e del sofisticato sistema del monitoraggio installato su ponte, è collocata in un fabbricato tecnologico vicino alla galleria Coronata.

Sede amministrativa
Casoria (NA) 80026
via G. Puccini 12/a
T +39 081 7583566
F +39 081 7587857

Sede legale
Lainate (Mi) 20020
via Rho 56
T +39 02 93799240
F +39 02 93301029



www.boviar.com
info@boviar.com



Il protocollo in questione, consentendo ad ogni centralina di funzionare sostanzialmente anche da ripetitore, consente di creare una struttura di rete in cui ogni unità funge da router e rende possibile la trasmissione del dato anche in presenza di ostacoli, dovuti alla complessità della struttura, interposti tra le unità di acquisizione e il sistema ricevente.

Configurazione che ha reso possibile il trasferimento dei dati di unità in unità e l'invio degli stessi alla control room, nella quale erano presenti dei dispositivi che hanno consentito la connessione in tempo reale a tutte le macchine e l'acquisizione simultanea dei dati provenienti da tutti i sensori collegati alle diverse centraline installate. Quindi sia il sistema wireless che il software di elaborazione dati forniti sono stati customizzati per questa specifica applicazione.

Sede amministrativa
Casoria (NA) 80026
via G. Puccini 12/a
T +39 081 7583566
F +39 081 7587857

Sede legale
Lainate (Mi) 20020
via Rho 56
T +39 02 93799240
F +39 02 93301029



ASSO



www.boviar.com
info@boviar.com