

# Il sistema di monitoraggio dei movimenti dello stadio G. Meazza di Milano - San Siro

Fabio Roncoroni, Alfredo Cigada, Luigi Barazzetti, Mattia Previtali

Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133, Milano

## Introduzione

Il controllo statico delle strutture ha acquistato sempre maggiore importanza viste le necessità di conservazione di edifici e strutture, sia di interesse storico-artistico, sia quelle più recenti, con l'esigenza di garantire una condizione di sicurezza. Fa sicuramente parte di questo ambito di attività quanto avviene presso lo stadio Giuseppe Meazza San Siro, struttura che può contenere un elevato numero di spettatori e che risulta altamente sollecitata durante gli eventi sportivi ed i concerti. L'imponenza dello stadio, la sua realizzazione in fasi successive ed indipendenti dai vari ampliamenti e la particolarità della copertura metallica, hanno posto in primo piano il problema di garantire la sicurezza strutturale per i passati due decenni e per il futuro.

## Il sistema di monitoraggio statico

Lo stadio Giuseppe Meazza San Siro viene inaugurato nel 1926, offrendo una capienza di 32.000 spettatori alla città di Milano. Nella sua vita ha poi subito diverse modifiche e ristrutturazioni (fig. 1), ma le più significative sono quella del 1955, durante la quale viene terminato il primo ampliamento con la costruzione del secondo anello (capienza complessiva di 95.000 posti), e quella del 1987, dove viene dato inizio ai lavori di costruzione del terzo anello, in vista dei campionati mondiali di calcio "Italia '90".



Figura 1 - Lo stadio nel 1926, nel 1955 e nella veste attuale

La necessità di mettere sotto controllo lo stadio è nata come richiesta dei collaudatori (sia delle opere in cemento armato che in acciaio) in relazione alle nuove strutture del terzo anello.

Terminata dunque la realizzazione del terzo anello e della copertura, è stato installato un sistema di monitoraggio minimale che teneva sotto controllo i principali elementi strutturali; questo sistema è stato sostituito negli anni immediatamente successivi dall'attuale sistema di monitoraggio statico, che ha visto l'implementazione di una rete di misure di controllo che comprende la copertura, tutte le strutture portanti del terzo anello, ed in parte anche quelle del secondo. In particolare sono state installate:

- una rete di livellazione di alta precisione per la valutazione delle deformazioni altimetriche delle travi principali della copertura;
- una rete di livellazione di alta precisione alla quota del piazzale esterno per la valutazione di eventuali cedimenti delle fondazioni delle strutture portanti;
- la misura delle variazioni di verticalità delle quattro torri fondamentali che sorreggono la copertura;
- la determinazione, sia con livellazione di alta precisione che con misure clinometriche, delle rotazioni delle travi che sorreggono le gradinate del terzo anello, oltreché misure del loro quadro fessurativo.

Questo sistema di controllo, anche se composto da parti che apparentemente sono slegate tra di loro, riesce a mettere in luce sia le deformazioni che presentano dei trend periodici (cicli termici stagionali) che eventuali anomalie strutturali.

In passato, la periodicità dei controlli avveniva con cadenza semestrale (1° controllo nel mese di febbraio, 2° controllo nel mese di settembre). Dal 2006, con l'installazione del primo lotto del sistema di controllo automatico, si è passati ad una cadenza annuale (controllo nel mese di settembre). Gli ormai vent'anni di monitoraggio statico hanno permesso di definire nel dettaglio i cicli termici delle varie parti strutturali, in particolare della copertura che avendo una struttura portante in acciaio risente in modo particolarmente evidente dell'effetto della temperatura. Sintetizzando dunque i risultati delle misure si è constatato, in questo lungo periodo, che nel suo complesso la struttura non presenta particolari problemi strutturali.

### **Il sistema di monitoraggio dinamico**

L'avvio della progettazione del sistema permanente di controllo dinamico trova anch'essa origine nelle prescrizioni dettate in fase di collaudo strutturale; è infatti impensabile che una simile struttura venga monitorata solamente per la componente statica dei movimenti, ma necessita di un controllo 24 ore su 24, 7 giorni su 7. Vista la grande difficoltà riscontrata nella realizzazione di sistemi di controllo automatici negli anni '90, principalmente a causa della tecnologia allora disponibile, si dovette attendere fino al 2003 quando iniziò la progettazione dell'attuale sistema di monitoraggio permanente. Tale sistema riesce a controllare sia la componente "quasi statica" di alcuni elementi strutturali, con la misura di rotazioni con clinometri e spostamenti su giunti strutturali con trasduttori di posizione, che la componente dinamica attraverso la misura di vibrazioni con terne accelerometriche. Fu proprio a causa di un evento caratterizzato da forti vibrazioni percepite sia all'interno dello stadio che in alcuni edifici nelle vicinanze dello stesso, manifestatosi durante un concerto, che si diede inizio al monitoraggio dinamico di tutti e tre gli anelli che compongono la struttura.

Il sistema oggi opera in modo ridondante per evitare la perdita di dati e con possibilità di controllo in remoto, ma è soprattutto la parte relativa all'elaborazione automatica delle misure che oggi vede il massimo sforzo, in quanto il sistema deve essere in grado di evidenziare in modo automatico le situazioni ritenute anomale.