

VIBRAZIONI

PRESENTA:

MAURO SAVOLDELLI – CEAS

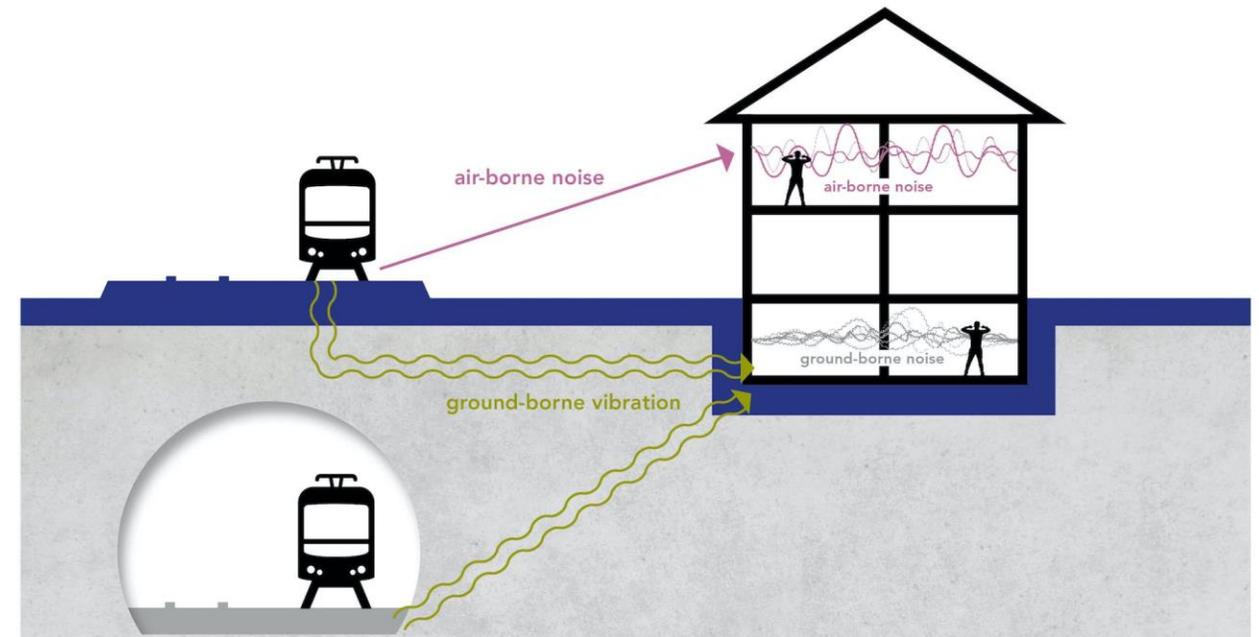
04 Novembre 2022

VIBRAZIONE E RUMORE

Rumore: propagazione di onde (sonore) nell'aria, in un campo di frequenze udibile (20-20.000 Hz o cicli al secondo)

Vibrazioni: propagazione di onde nella materia solida (terreno, edifici), principalmente in un campo di frequenze basse (1 – 80 Hz)

La distinzione è un po' convenzionale, ma



i metodi di difesa dal rumore e dalle vibrazioni sono differenti.

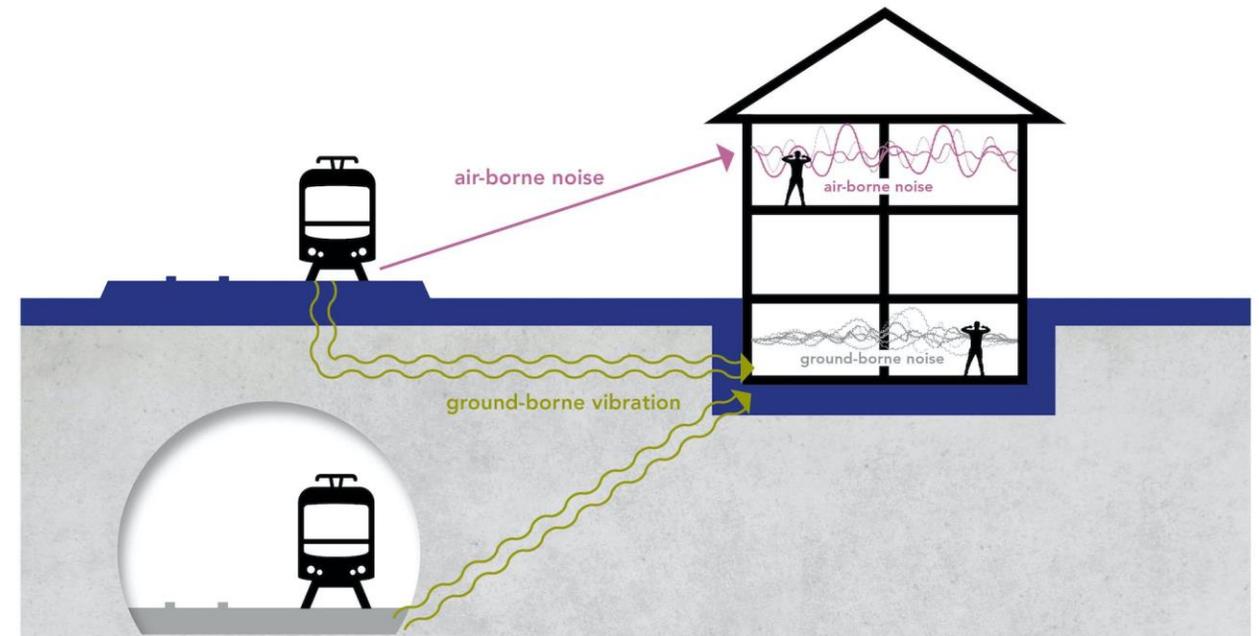
VIBRAZIONE E RUMORE

Come per il suono, anche le vibrazioni sono caratterizzate da

- **Frequenza** (numero di cicli al secondo o Hz)
- **Ampiezza**, o intensità della vibrazione

Come detto, il campo di frequenze allo studio è limitato a valori fra 1 e 80Hz.

Il parametro che individua la «fastidiosità» della vibrazione è essenzialmente **l'ampiezza**.



Esistono normative che fissano le soglie massime di ampiezza delle vibrazioni ammissibili nei diversi ambienti.

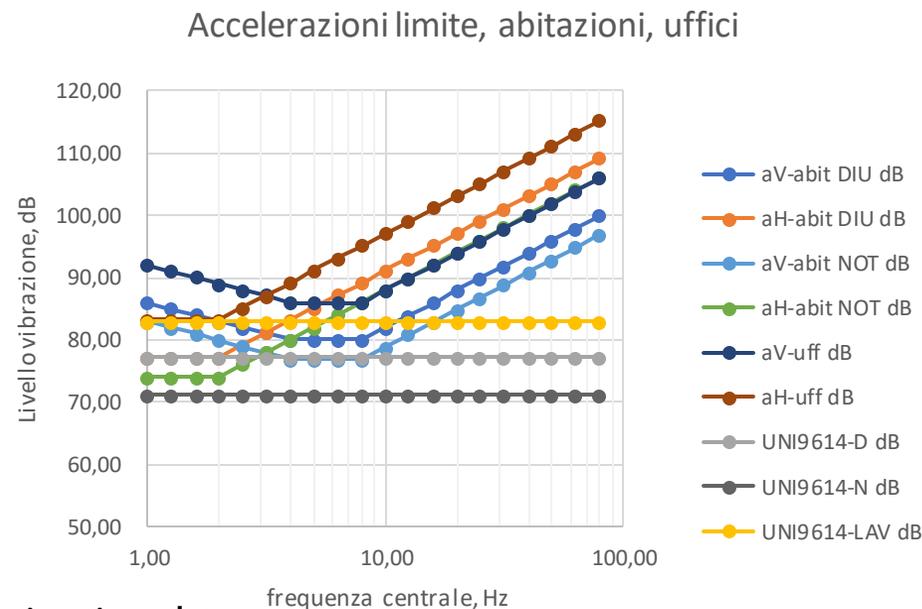
LIMITI DI NORMATIVA ALLE VIBRAZIONI

Come per il suono, **esistono delle norme, che limitano l'ampiezza delle vibrazioni** accettabili negli ambienti residenziali e di lavoro.

Queste norme sono pensate sostanzialmente per **il benessere e il comfort umano**.

Ad esempio, il **Regolamento di Igiene del Comune di Milano** stabilisce dei limiti all'ampiezza delle vibrazioni verticali e orizzontali fra 1 e 80 Hz, individuando:

- La soglia di percezione**, ovvero l'ampiezza minima percepibile
- Le soglie di ammissibilità in ambienti residenziali** diurna e notturna
- Le soglie di ammissibilità **in ambienti di lavoro**.



Chi progetta oggi un'opera che immette vibrazioni nel terreno, deve confrontarsi con queste soglie.

PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI - ESEMPIO

Si considera ad esempio una linea ferroviaria di superficie o una metropolitana, le cui vibrazioni si propagano nel terreno, interessando gli edifici circostanti.

L'intensità, massima al punto sorgente, diminuisce progressivamente con la distanza.



L'intensità delle vibrazioni immesse nel terreno **può essere ridotta con interventi alla sorgente**, ad esempio con la scelta di un **particolare tipo di armamento ferroviario**.

RIDUZIONE DELLE VIBRAZIONI ALL'ORIGINE ESEMPIO: ARMAMENTO ISOLANTE

A Milano, le linee MM 1 e soprattutto 2, prive di misure di smorzamento a livello dell'armamento, trasmettono vibrazioni più ampie delle linee 3 e 5 (la 4 adotta lo stesso armamento della 5).

Queste ultime sono studiate in modo tale che **non trasmettono vibrazioni percepibili:**

già all'origine la vibrazione è al di sotto della "soglia di percezione umana"

Appare quindi evidente che, nel progettare una **struttura nuova**,

possono essere messi in campo tutti i
**dispositivi necessari a
mitigare le vibrazioni già all'origine,**

portandole all'interno delle soglie sopra descritte o anche, in previsione
di una migliore

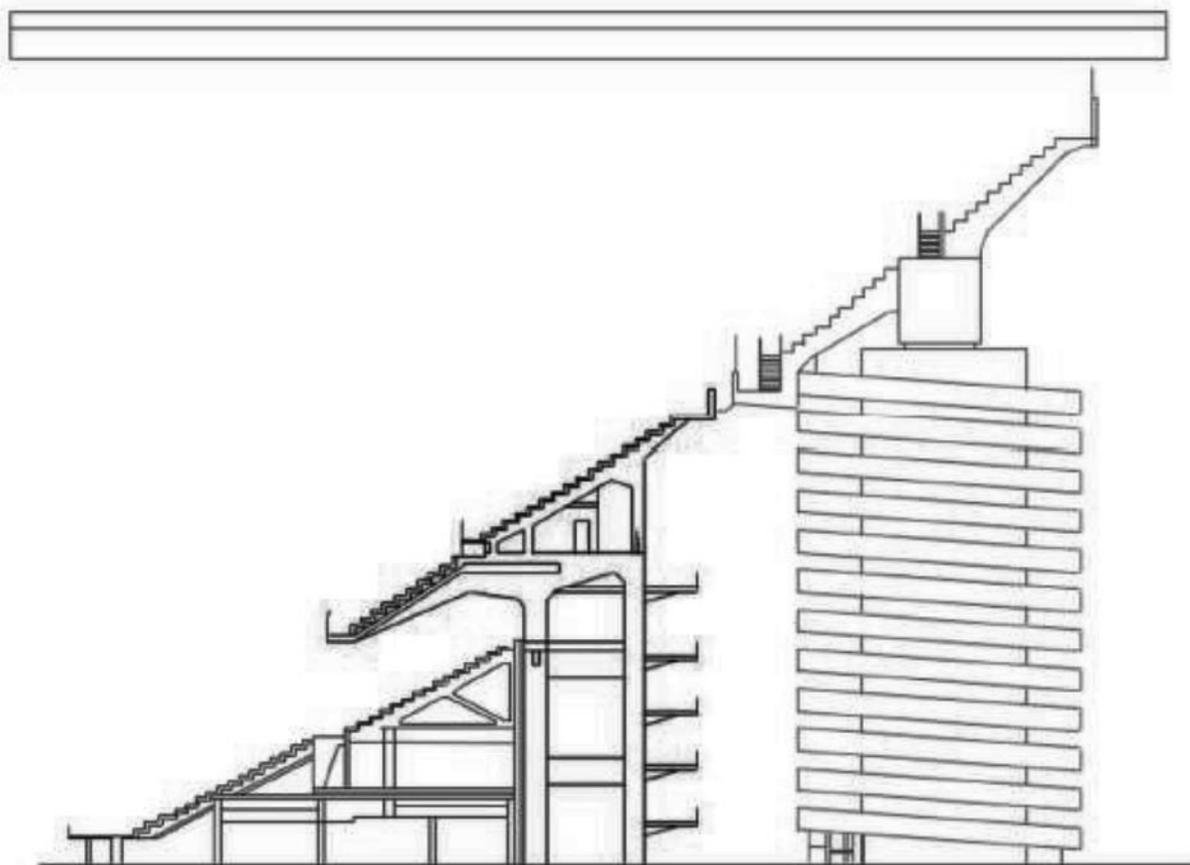
futura sostenibilità,

ovvero il rispetto di soglie ancora più restrittive.

LE VIBRAZIONI E LO STADIO

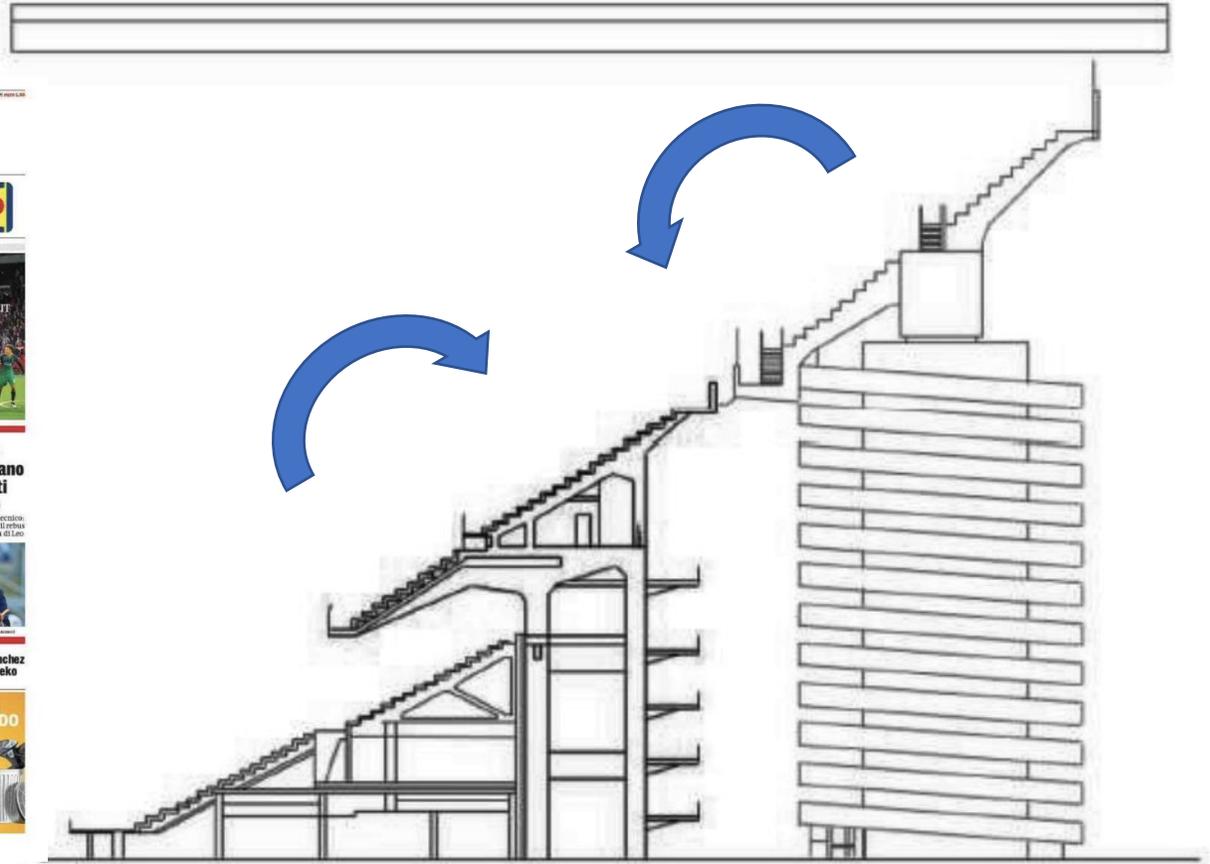
Escludendo quindi il suono / rumore, quali sono le vibrazioni trasmesse da una struttura come uno stadio?

Si tratta di strutture in calcestruzzo armato o in acciaio, di **grandi dimensioni** e relativamente **snelle**, che possono vibrare in diversi «**modi**».



LE VIBRAZIONI E LO STADIO – GLI EVENTI SPORTIVI

Essenzialmente la tribuna entra in vibrazione quando il pubblico **si muove a ritmo sulle gradinate**; a causa dell'elasticità di queste strutture, esse possono vibrare con ampiezze anche rilevanti se **l'eccitazione** (ovvero i movimenti della folla) avvengono con frequenze vicine alla loro propria **frequenza naturale**.



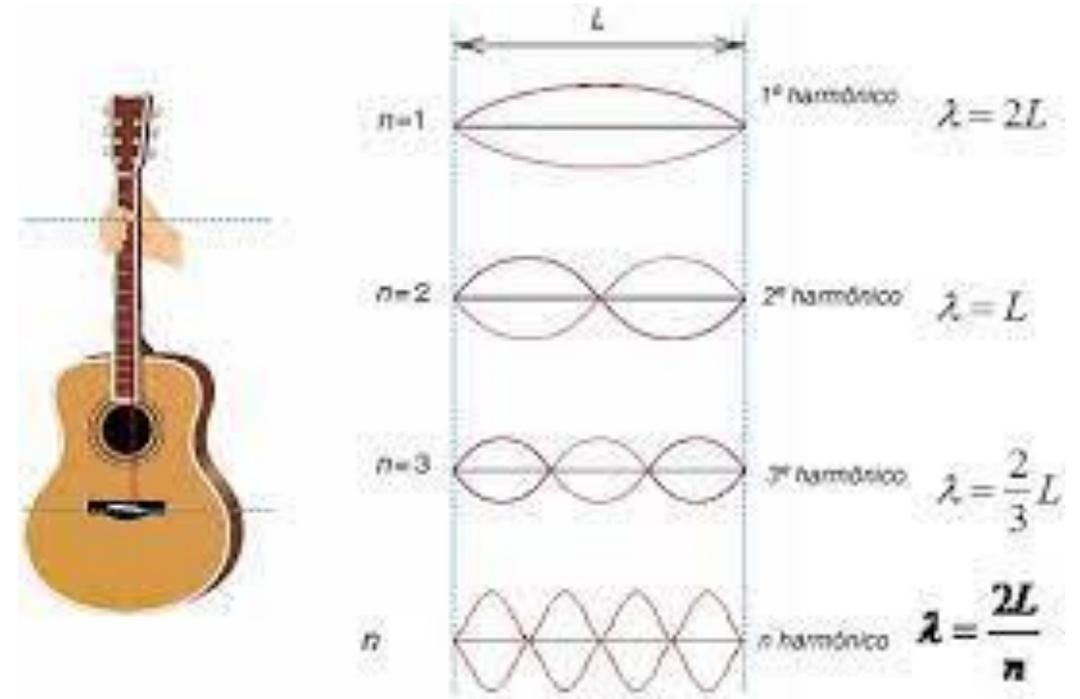
LE VIBRAZIONI E LO STADIO

Per inciso: ogni corpo ha una o più **frequenze naturali**: pensiamo a una corda della vostra chitarra: se pizzicata, emette sempre la stessa nota

(stessa frequenza: Diapason = 432 Hz).

Per cambiare questa nota basta cambiare la tensione della corda, agendo sulla chiavella, oppure la lunghezza, agendo sulla tastiera).

Ecco, la tribuna dello stadio è analoga: ha una propria **frequenza fondamentale** che può cambiare solo se ne cambio la massa o la rigidezza.



LE VIBRAZIONI E LO STADIO – GLI EVENTI SPORTIVI



Quindi:

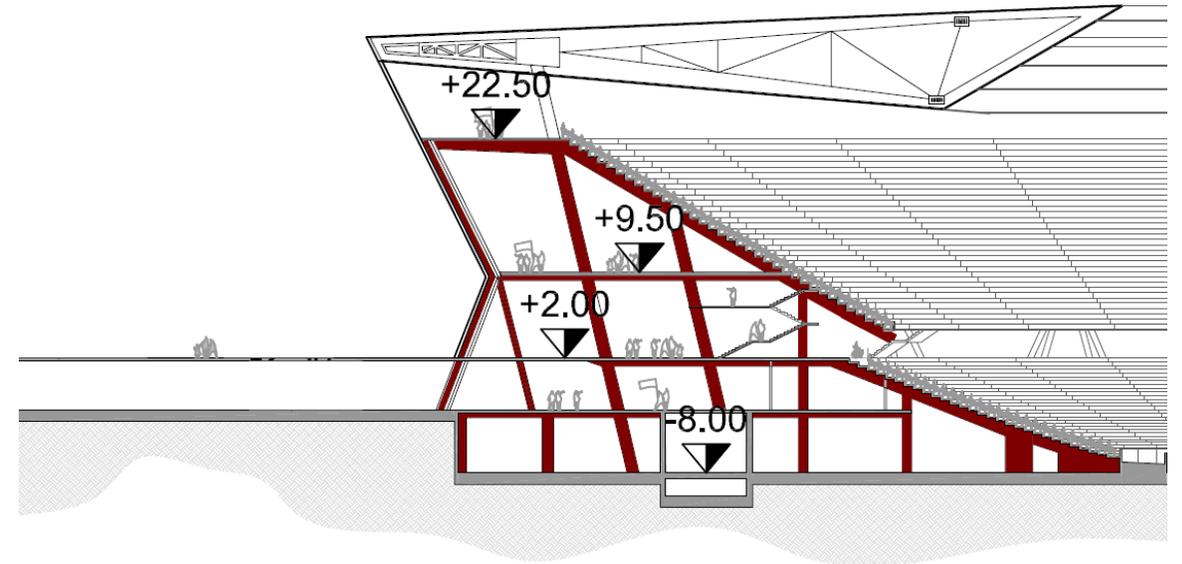
se la tribuna è esistente, la frequenza fondamentale è predeterminata,

se la tribuna è in progetto, posso studiarla in modo da avere una determinata frequenza fondamentale.

Le tribune dell'esistente Stadio di S. Siro hanno frequenze naturali di 2 o 3 Hz, **molto vicine alla frequenza con cui la gente «salta»**, mentre

Nelle tribune in progetto, la frequenza obiettivo di progetto è di 5 Hz, proprio per

evitare la “risonanza” con il moto della folla.



LE VIBRAZIONI E LO STADIO – I CONCERTI



Oltre al suono e al movimento del pubblico, esiste un'altra sorgente di vibrazione, data dai **sub-woofer** la cui potenza, in occasione dei grandi concerti, può generare onde di pressione tali da indurre piccole vibrazioni strutturali.

Non si hanno evidenze sperimentali che queste vibrazioni (la cui energia è comunque piccola rispetto a quella di una massa di spettatori che si muove in sincronia), possano propagarsi in modo apprezzabile all'esterno della struttura. Tuttavia,

anche questo tema può essere affrontato progettualmente.

In tal caso, si può pensare a una **analogia** ai fenomeni di "blasting", ovvero degli effetti di **onde d'aria, causati da esplosioni**, con contenuti energetici altissimi, e che è oggetto di una specifica branca dell'ingegneria.

L'effetto di un sistema di sub-woofer, **pur di una entità molto minore**, è sostanzialmente simile e può essere valutato con questi metodi.

LE VIBRAZIONI E IL CANTIERE



MITIGAZIONE AMBIENTALE DELLE VIBRAZIONI

- Procedure di lavoro: **vietato crolli** di porzioni di strutture
- Procedure di lavoro: Demolizione in opera con caduta **frammenti inerti** solo fino 2° anello
- Procedure di lavoro: **Smontaggio** di tutte le strutture 3° anello
- Procedure di lavoro: **Abbassamento idraulico** della copertura in travi metalliche
- Installazione rete di accelerometri / vibrometri di **monitoraggio**



DIBATTITO PUBBLICO
STADIO MILANO



LA DECOSTRUZIONE DELLO STADIO MEAZZA



CONCLUSIONI

- 1) Esistono precisi **limiti normativi all'ampiezza delle vibrazioni** prodotte da attività antropiche
- 2) L'ampiezza delle vibrazioni può essere **valutata sperimentalmente e calcolata** con i metodi dell'ingegneria
- 3) In una struttura nuova, l'ampiezza massima delle vibrazioni può essere definita come una **specificata di progetto**
- 4) In **uno stadio**, le vibrazioni possono essere prodotte dal **moto del pubblico** sulle tribune o da **apparecchi diffusori sonori** di grande potenza e bassa frequenza (sub-woofer)
- 5) Pur non essendo problemi diffusi (come ad esempio le vibrazioni indotte dai treni o dalle macchine operatrici), questo tipo di vibrazioni **può essere studiato progettualmente** con i metodi della dinamica strutturale.
- 6) Sono previste specifiche previsioni di **mitigazione ambientale e monitoraggio in fase di decostruzione** dello stadio per minimizzare la trasmissione di vibrazione agli edifici vicini al cantiere



Grazie