

1 – INTRODUZIONE

In data 5 Maggio 2012, poco prima quindi degli eventi sismici del 20-29 maggio 2012, era stato eseguito un primo sopralluogo nel piazzale di una sottostazione elettrica di un comune del mantovano: in tale piazzale si erano manifestate deformazioni nel manto in conglomerato bituminoso della pavimentazione e fessurazioni nelle opere murarie perimetrali. Tali deformazioni erano state oggetto di precedente indagine geologica che aveva escluso, quali possibili cause, cedimenti del terreno e rigonfiamenti del terreno naturale o del riporto. L'indagine riconosceva comunque che le deformazioni erano provocate da movimenti orizzontali, non precisati.

La documentazione fotografica riportata in relazione ci aveva fatto in un primo tempo ipotizzare che tali spinte orizzontali potessero essere dovute ad onde superficiali provocate dal passaggio di treni merci carichi: questa ipotesi prevedeva che effetti di risonanza di queste onde, confinate all'interno dell'area dalla recinzione in c.a che diveniva una sorta di cassa acustica, potessero incrementare la loro energia, tale da provocare le deformazioni prodotte.

Nel corso del primo sopralluogo le forma e la disposizione delle deformazioni **sembrava** confermare tale ipotesi: un treno d'onda, con provenienza SSE, entrava nell'area della stazione e, aggirando gli ostacoli rappresentati dalle opere in c.a., quali la cabina ed i plinti di fondazione dei tralicci, avanzavano in direzione NNW, lasciando nel piazzale asfaltato, quale loro impronta, la forma del loro andamento ondulatorio. (v. allegato: PIANTA DELLE DEFORMAZIONI). La loro energia si dissipava contro la recinzione esterna creando così distacchi, fessurazioni ed inclinazione della recinzione verso l'esterno.

Al fine di verificare la veridicità di tale ipotesi, è stata proposta una indagine geofisica, avente principalmente lo scopo di misurare l'entità delle deformazioni prodotte nel piazzale al passaggio dei treni, in particolare dei treni merci carichi aventi direzione Sud verso Nord.

2 – PRINCIPI, MODALITÀ OPERATIVE E PARAMETRI MISURATI

Un'onda sismica non è altro che la propagazione in un mezzo di un fenomeno oscillatorio dovuto ad un processo di liberazione di energia (infissione di pali, passaggio di mezzi pesanti, ecc.). Le onde sismiche possono essere distinte in onde di compressione (P) e onde di taglio (S) che sono i due tipi di onde che si propagano radialmente in un mezzo monofase e isotropo come ad esempio un continuo viscoelastico. Come è noto nelle onde P la direzione di vibrazione coincide con la direzione di propagazione, mentre nelle onde S le due direzioni sono ortogonali. L'obiettivo primario della presente campagna di misurazione è stato quello di determinare l'entità delle vibrazioni - deformazioni indotte dal passaggio dei treni (in particolar modo quello dei treni merci carichi). Per comprendere se il quadro deformativo esistente, all'interno del piazzale, sia legato alla distruzione delle sollecitazioni indotte dai treni in transito sono state posizionate due stazioni

di misura. La stazione A in prossimità della fratturazione più marcata e la stazione B in una zona dove non si sono riscontrate lesioni.

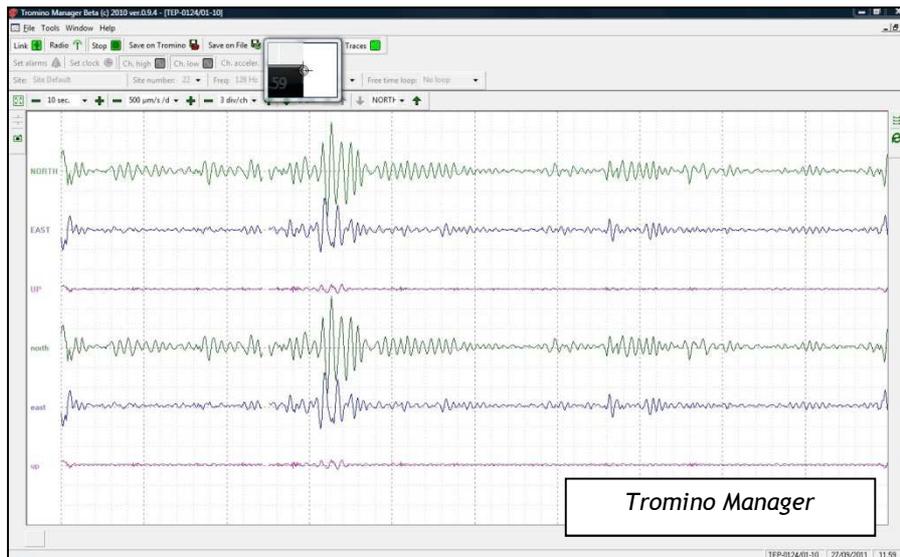


Il parametro fondamentale per la stima delle vibrazioni indotte è la “velocità di picco”; la normativa più aggiornata (UNI 9916 e/o DIN 4150) fornisce una guida completa per la scelta dei metodi più appropriati in base alla sorgente del disturbo e alla tipologia della struttura da analizzare. I segnali registrati devono essere opportunamente trattati per ottenere una velocità correttamente diagrammabile in base alla frequenza.

Le misurazioni sono state condotte nei giorni 08/05/2012 e 18/05/2012 per alcune ore senza rilevare alcun transito di treni nonostante i tabulati degli orari indicassero svariati passaggi.

Per questo motivo, in accordo con la Committenza, si è deciso di monitorare un periodo più lungo, dalla mattina del 13/06/2012 alla mattina del giorno successivo. In tale occasione sono transitati alcuni treni marci carichi e svariati treni EC, IC, regionali e inter - regionali.

Per le registrazioni sono state utilizzate due stazioni sismiche digitali compatte e leggere, equipaggiate con sismometri a banda larga e alta sensibilità (Tromino – Micromed S.p.a.), costituiti da n°6 velocimetri a breve periodo smorzati criticamente, di cui n°3 a basso guadagno per il rilievo di vibrazioni artificiali di grande ampiezza. Le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata (masse ridotte, struttura rigida non risonante costituita da materiali non-diffragenti, dinamica di oltre 23 bit, ottimizzazione automatica del guadagno per ogni campione, frequenza di campionamento fino a 1024 campioni per secondo, accuratezza relativa $>10e-4$ nell'intervallo di frequenze 0.1-200 Hz) consentono nella generalità delle condizioni ambientali una buona qualità del segnale sismico acquisito sulle tre componenti (verticale, longitudinale e trasversale). I dati sono stati trattati con due software specifici: *Tromino Manager* e *Grilla*.



Per le registrazioni dei transienti provocati dal passaggio dei treni si è disposta la registrazione "in continuo" per tutto il periodo di osservazione. Il segnale registrato è stato successivamente elaborato per ricavare i valori massimi delle componenti del moto (accelerazione, velocità e spostamento) e lo spettro di frequenze a cui tali sollecitazioni si manifestano.

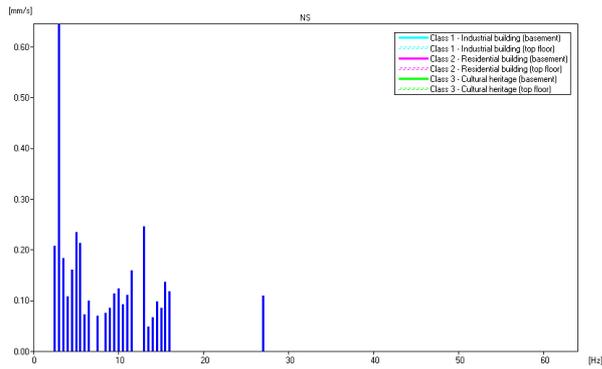
La possibilità di operare una vasta gamma di filtri e l'elevato "range" dinamico (fino a 132 dB) garantiscono un'ottima qualità del segnale sismico, acquisito sulle tre componenti (verticale, longitudinale e trasversale). La frequenza predominante del moto del suolo viene riportata in appositi grafici insieme alle seconde, terze, ecc. che presentassero ampiezze comparabili fino al 50% dell'ampiezza di picco per non trascurare le frequenze solo di poco inferiori ma egualmente pericolose.

3 – OSSERVAZIONI E RISULTATI OTTENUTI

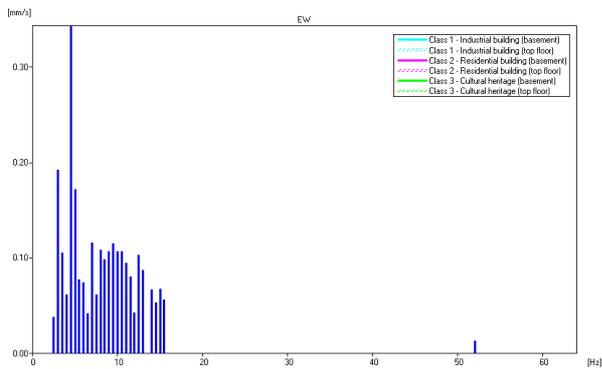
Durante la campagna di indagine del 13/06/2012, si sono verificati nell'area del basso Mantovano, degli eventi sismici di elevata intensità.

Durante questa fase, contemporaneamente alla misura di vibrazione indotta dal passaggio dei treni (passeggeri e merci carichi), si sono registrati circa 15 eventi sismici (con magnitudo >2): ciò ha permesso il confronto tra le differenti deformazioni indotte.

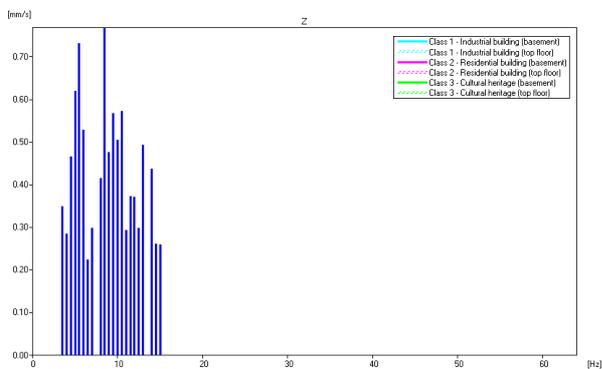
Gli strumenti sono stati accoppiati al suolo tramite appositi piedini con direzione del sensore NS perpendicolare alla linea ferroviaria. I risultati ottenuti, durante la registrazione del 13/06/2012 protratta per 24 ore, sono visibili nei grafici riportati a seguire.



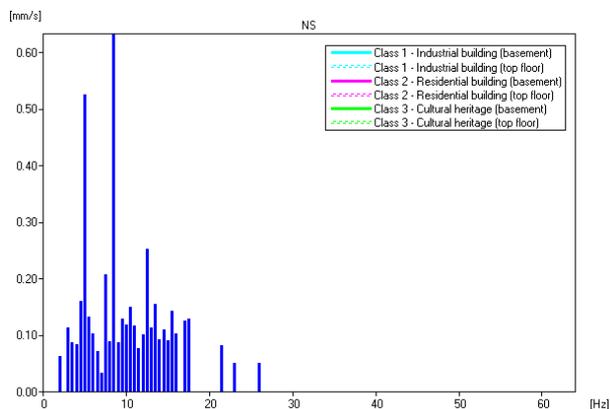
Stazione A – Componente NS: 0.64 mm/s



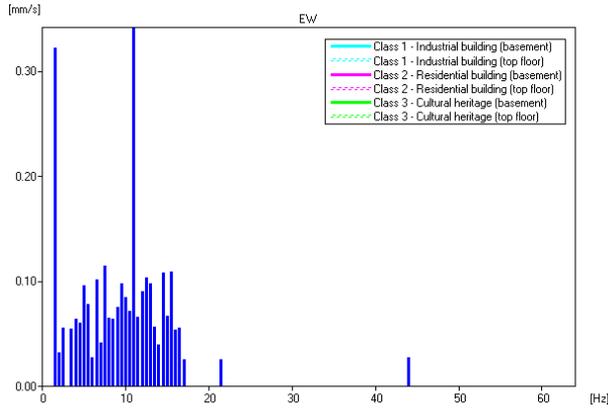
Stazione A – Componente EW: 0.34 mm/s



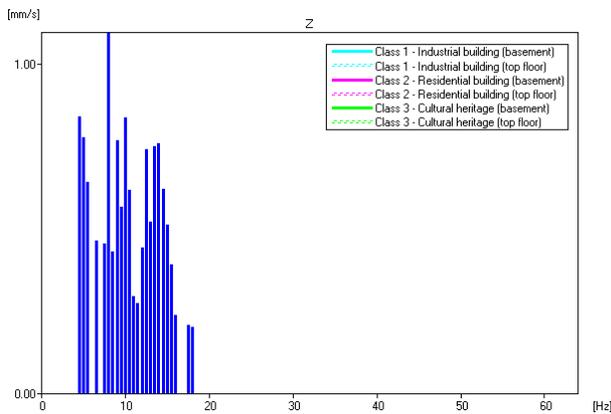
Stazione A – Componente Z: 0.76 mm/s



Stazione B – Componente NS: 0.63 mm/s

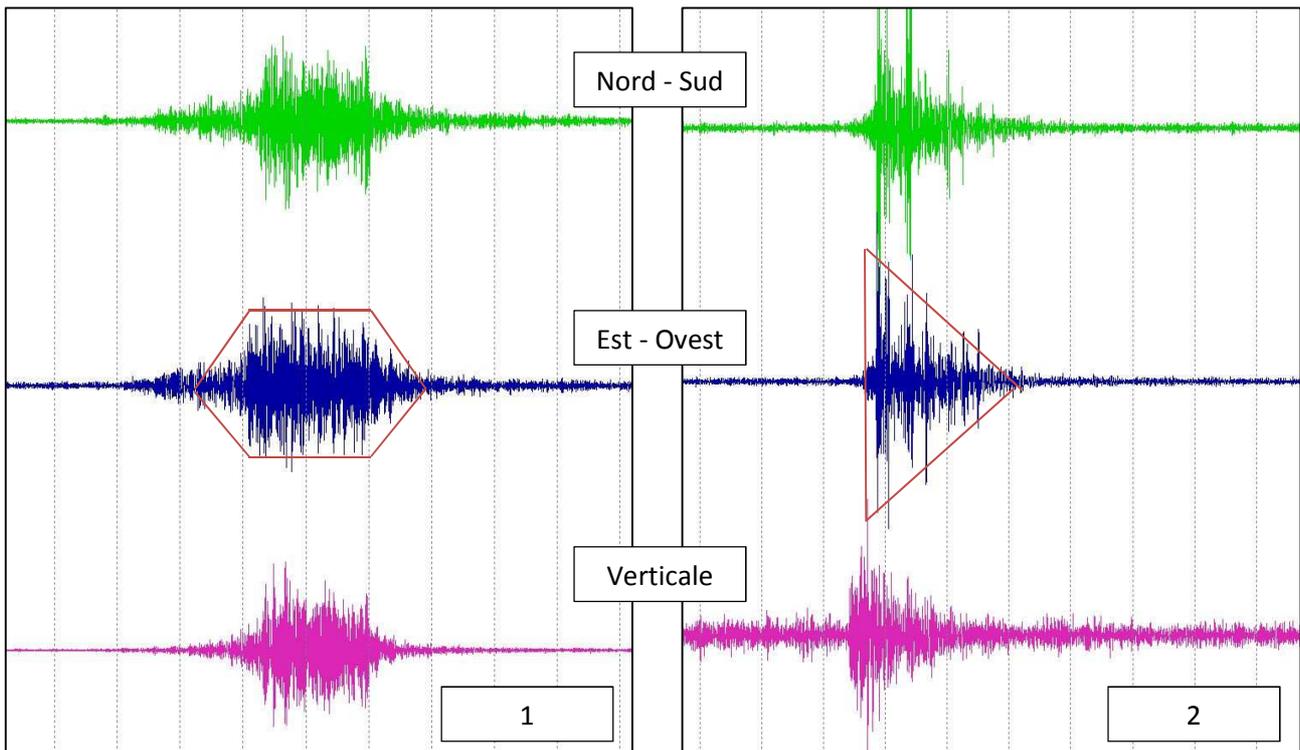


Stazione B – Componente EW: 0.34 mm/s



Stazione B – Componente Z: 1.09 mm/s

Le massime vibrazioni indotte nelle 24 ore sono state generate da eventi sismici. Il riconoscimento di una perturbazione sismica rispetto a quella generata dal transito dei treni è stata effettuata analizzando la forma d'onda generata.



Vibrazione indotta da treno:

- il segnale arriva contemporaneamente nelle tre direzioni
- aumento e diminuzione graduale di intensità

Vibrazione indotta da evento sismico:

- le onde P (di compressione – tracciato viola) arrivano prima di quelle S (di taglio – tracciato verde e blu)
- l'intensità massima è localizzata nella prima parte della perturbazione

Le due stazioni di misura, hanno misurato le stesse vibrazioni, sia in termini di entità della deformazione che di frequenza. In particolare:

Stazione A	Stazione B
Componente NS: 0.64 mm/s	Componente NS: 0.63 mm/s
Componente EW: 0.34 mm/s	Componente EW: 0.34 mm/s
Componente Z: 0.76 mm/s	Componente Z: 1.09 mm/s

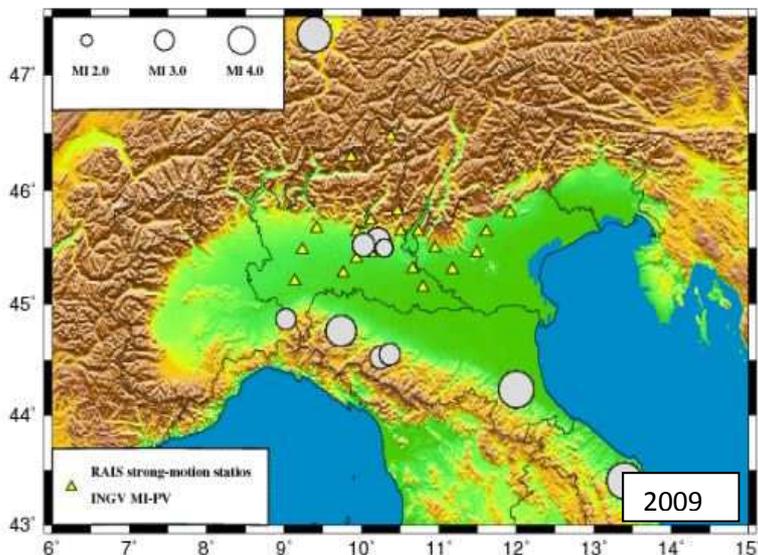
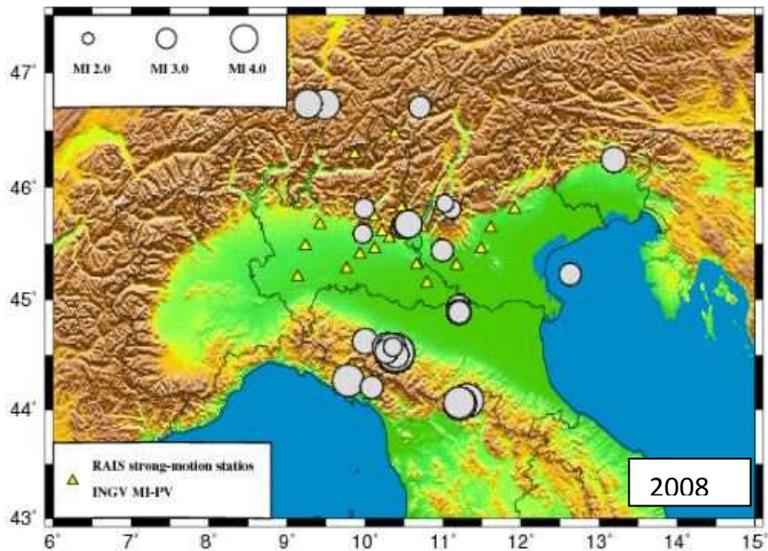
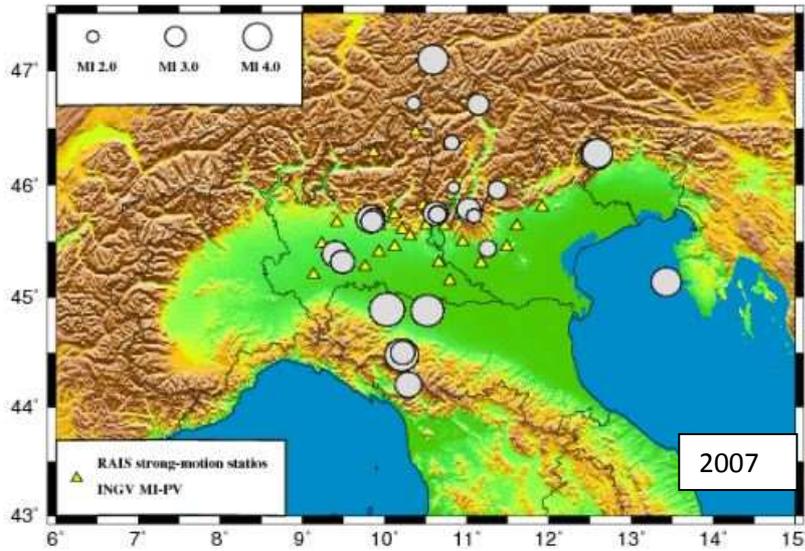
Le vibrazioni indotte dal passaggio di un treno merci carico con direzione nord-sud sono state, rispetto all'evento sismico che ha generato la massima deformazione, poco più della metà in senso verticale, e 3-4 volte inferiori nelle componenti di taglio (come peraltro era da aspettarsi): questo significa che le vibrazioni indotte dal treno prediligono la componente verticale, ma danno uno scarso contributo alla componente orizzontale.

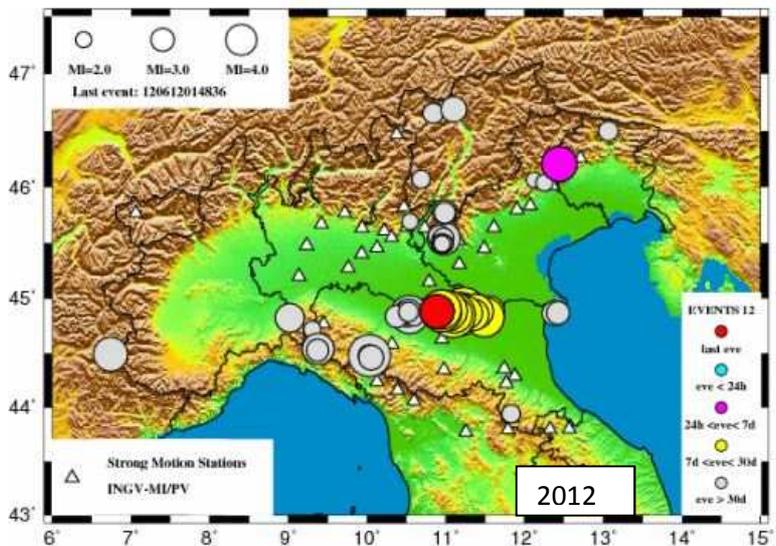
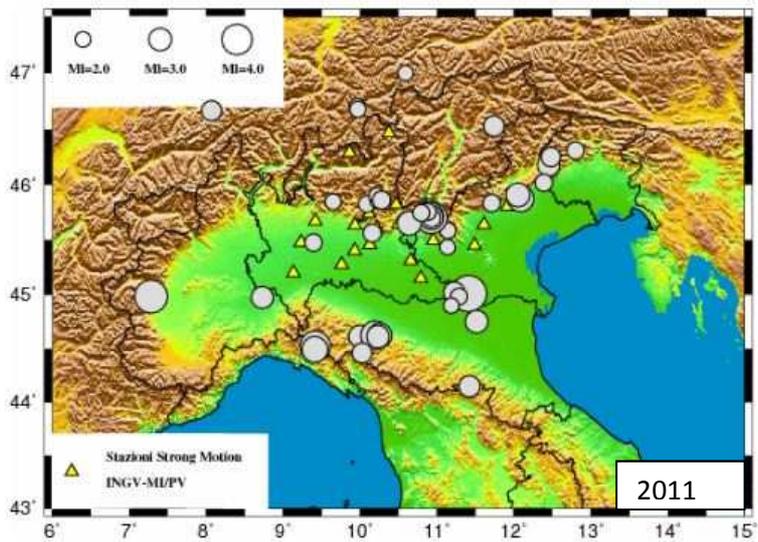
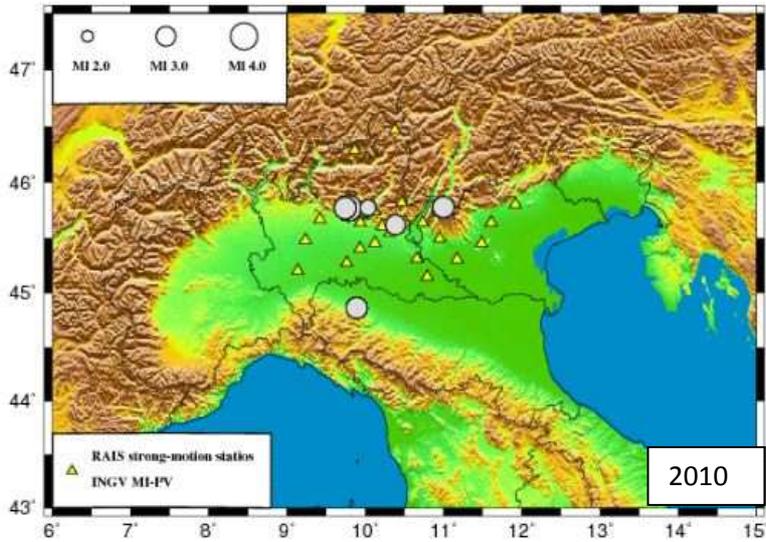
4 – SISMICITA' DELL'AREA NEGLI ULTIMI ANNI

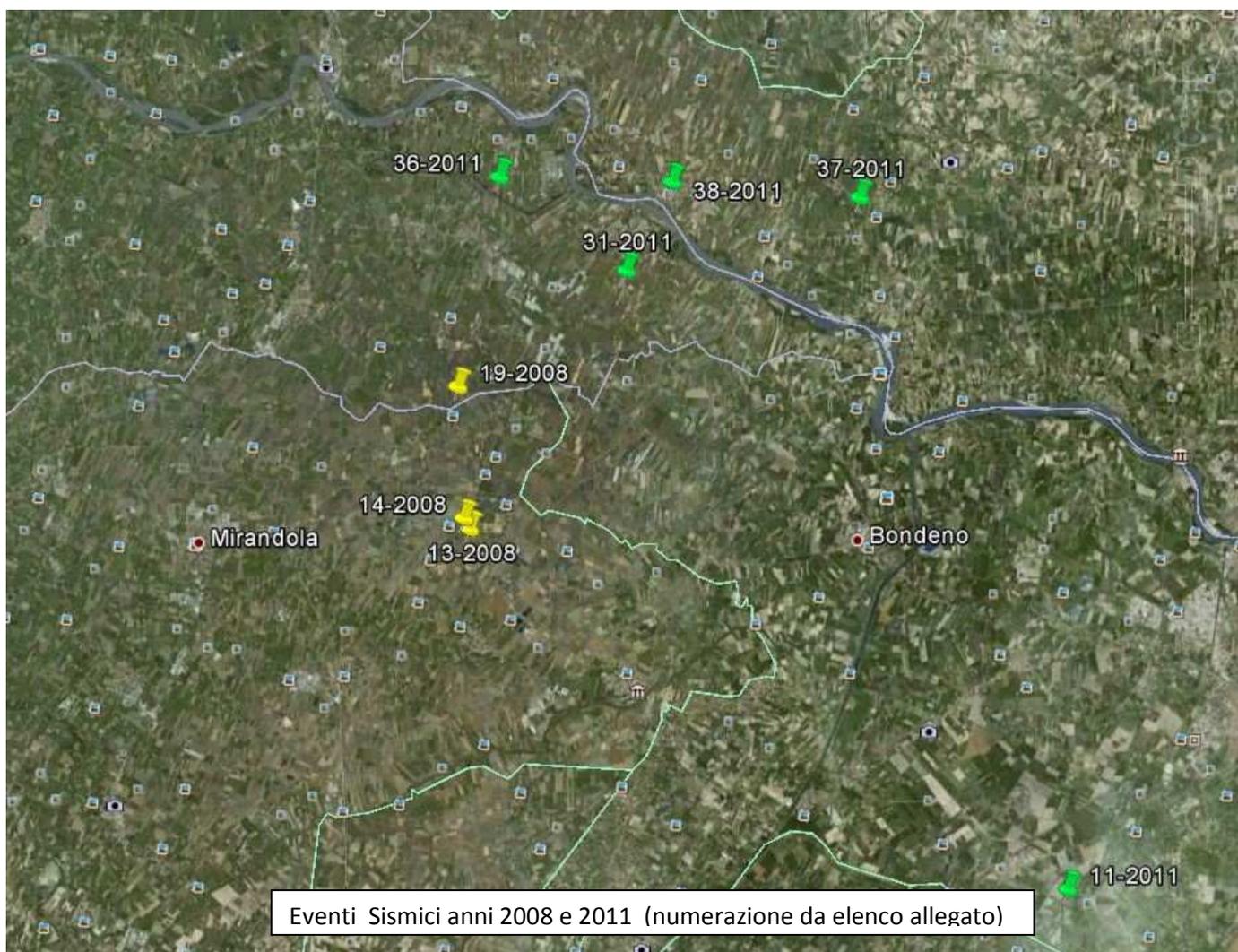
Una ricerca storica degli eventi sismici registrati nell'area negli successivi alla realizzazione della pavimentazione (2007) (Fonte:RAIS Rete Accelerometrica Italia Settentrionale, sito <http://rais.mi.ingv.it/>), ci sono stati, a parte i recenti episodi del 2012, 2 anni di attività sismica: 2008 e 2011 (V. allegati 1 e 2)

In questi due anni si sono verificati eventi sismici localizzati nella fascia est e sud est dell'area indagata. Si tratta di fenomeni di una certa entità che, **in quanto poco profondi**, risultano tali da generare onde superficiali (di taglio) di notevole entità.

Le caratteristiche degli eventi sismici (profondità e potenza) , nonché la loro posizione, sono compatibili con il quadro deformativo riscontrato nella Stazione in oggetto.



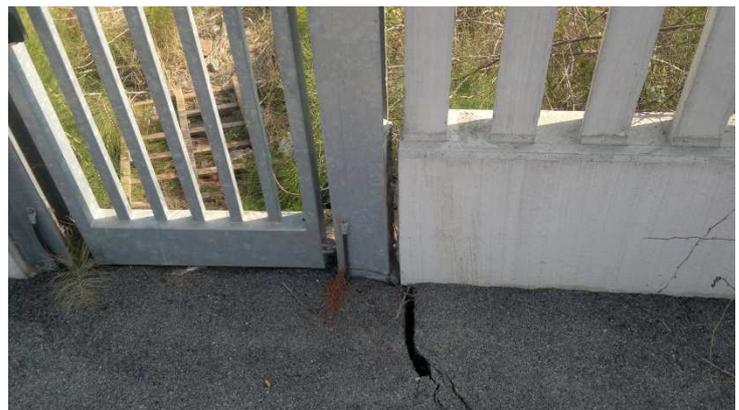
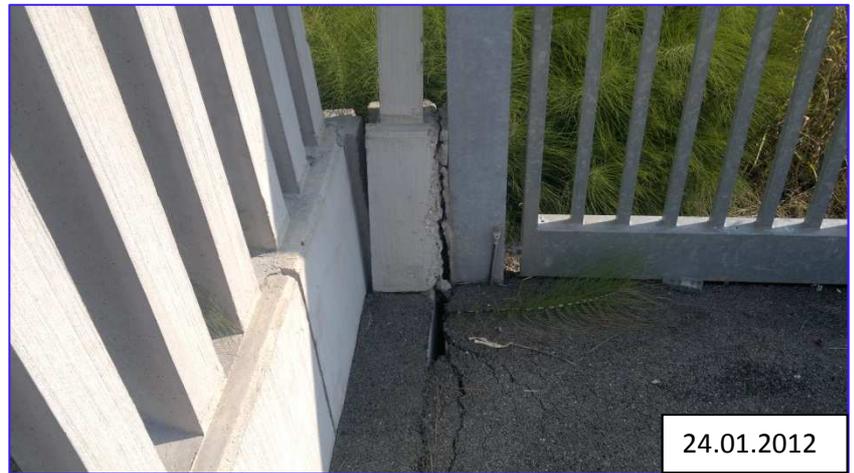




5 – VERIFICA DELL'INCREMENTO DELLE DEFORMAZIONI MEDIANTE CONFRONTO FOTOGRAFICO

Il confronto tra le foto eseguite nei vari periodi, a partire da quelle fatte al momento della prima indagine geologica mostra che in realtà, sino agli ultimi eventi sismici del Maggio-Giugno 2012, non si sono avuti particolari incrementi nelle deformazioni: da quanto è stato riferito, le prime deformazioni sarebbero apparse già l'anno successivo alla realizzazione della pavimentazione, ovvero già dal 2008. Un forte incremento è stato poi nel 2011, anno della prima indagine geologica, ma da allora non appaiono evidenti incrementi nelle deformazioni e fessurazioni.



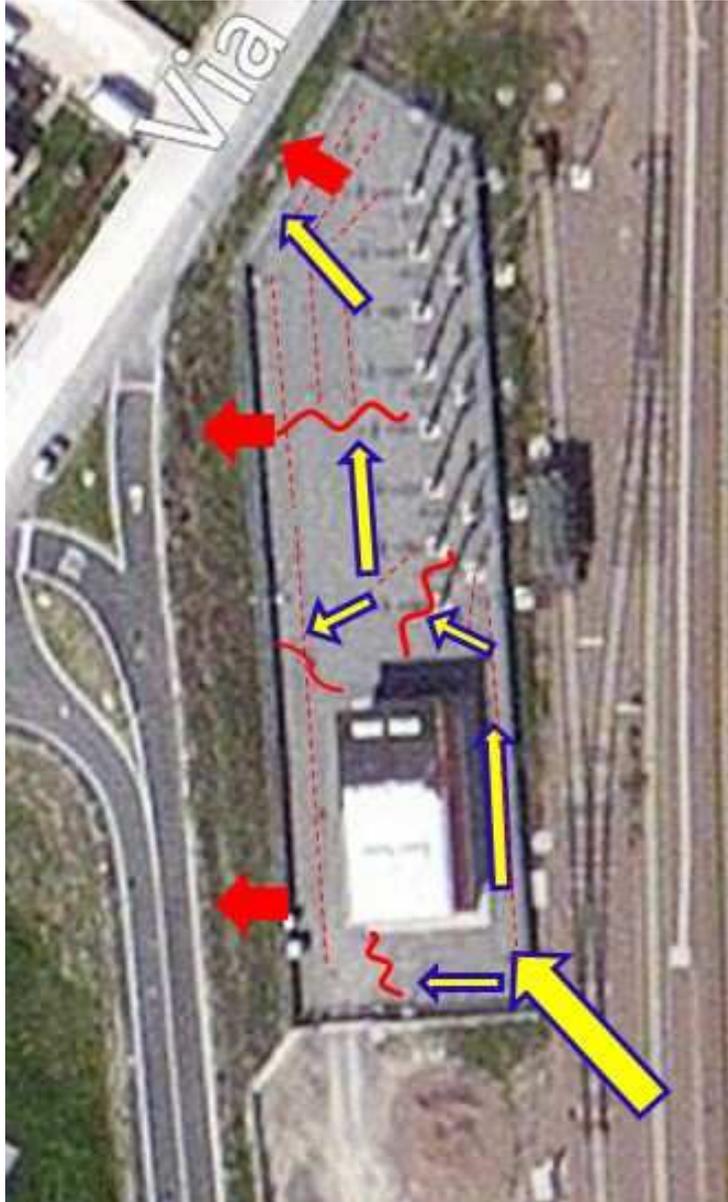


6 – CONCLUSIONI – SUGGERIMENTI OPERATIVI

Le indagini effettuate hanno confermato che le deformazioni indotte sulla pavimentazione in conglomerato bituminoso e sulle opere murarie di recinzione sono state provocate da onde orizzontali con direzione SSE – NNW. **Tuttavia la stessa indagine ha dimostrato che le onde che hanno generato la maggiore deformazione non sono quelle trasmesse dai treni merci in transito, ma da eventi sismici aventi magnitudo >2, verificatisi a sud di questa stazione negli anni 2008 e 2011.**

Dopo l'incremento delle deformazioni, nell'anno 2011, i movimenti sembrano essersi conclusi, pur con gli ultimi eventi sismici del 2012: le fratturazioni verificatesi nel manto bituminoso di copertura hanno interrotto la trasmissione di energia da parte delle onde superficiali, indicando così anche il possibile intervento: al fine di non vanificare ogni intervento di ripristino della pavimentazione sarà opportuno creare delle interruzioni dei flussi d'onda mediante trincee, scavate sino a terreno naturale e riempite in ghiaietto, con tubo di fondo per allontanare le acque di infiltrazione. Analogamente in ghiaietto sarà il perimetro della pavimentazione, per separare quest'ultima dal muretto di recinzione.

PIANTA DEFORMAZIONI E TRENI D'ONDA



Direzione di propagazione onde superficiali



Ondulazioni nella pavimentazione



Principali fratturazioni nella pavimentazione



Direzione di dislocazione del muro di recinzione