



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Le evidenze sismiche, acustiche ed ottiche del bolide del 5 Marzo 2022 in Centro Italia

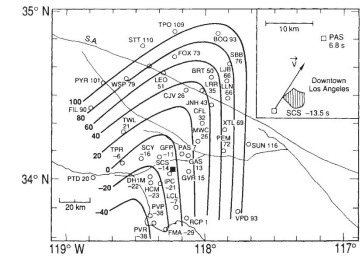
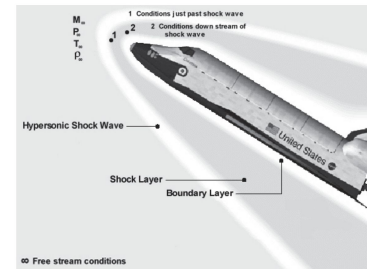
Marco Olivieri, INGV

con

Davide Piccinini, Gilberto Saccorotti, Dario Barghini, Daniele Gardiol, Nicola
Alessandro Pino, Maurizio Ripepe, Giulio Betti, Lorenzo Arcidiaco e Giorgio Lacanna

Gli incontri (oltre a PRISMA)

- **Bologna 1991**, una spedizione guidata dal prof. Longo parte da UniBo per Tunguska. Al ritorno, in un seminario raccontano a noi studenti le osservazioni e l'avventura....
- **Fermo 1996**, una meteorite di 10 kg nel campo di un contadino e viene esposto al palazzo comunale;
- **Hiroo Kanamori** che ha scritto un paper sulla shock-wave prodotta dallo Space Shuttle al rientro in atmosfera e registrata dai sismometri.



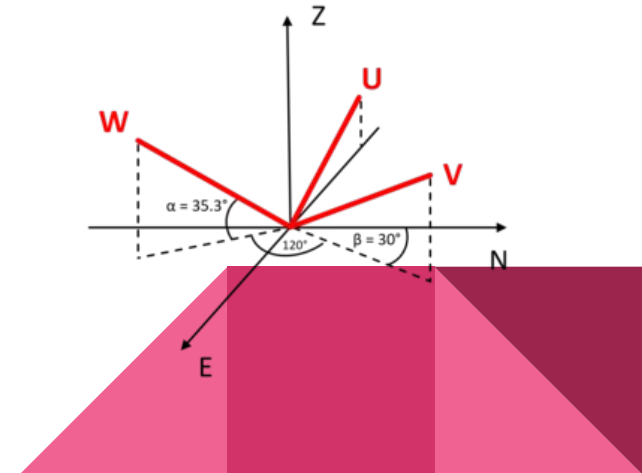
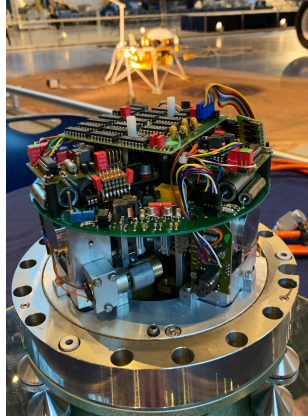
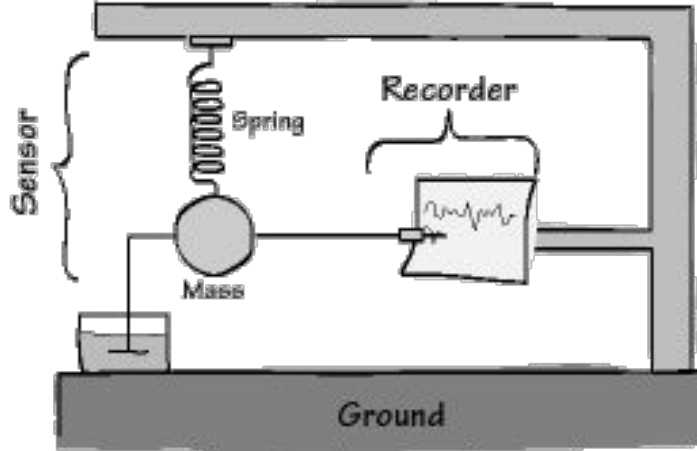
Intro sismologica: il sismometro e la rete sismica



Un sismometro registra il movimento del terreno in un certo spettro di frequenza ed in una certa direzione, tipicamente N-S, E-W, e verticale.

Quindi registra 2 cose:

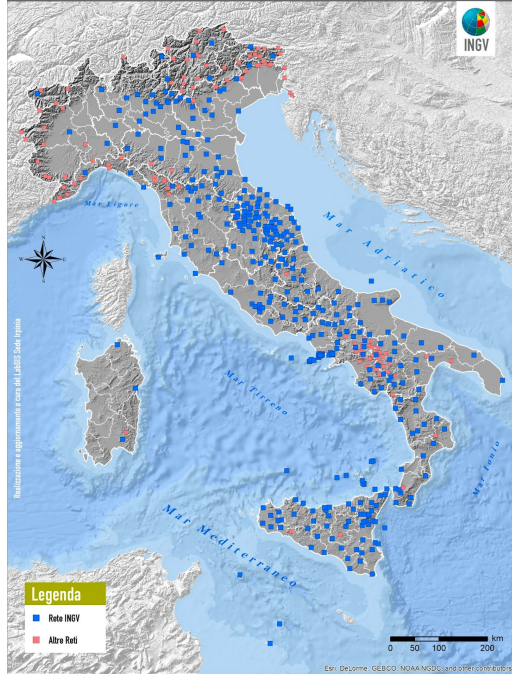
- il rumore di fondo (naturale ed antropico)
- le sollecitazioni transitorie del terremoto (terremoti ed altro)



Intro sismologica: il sismometro e la rete sismica



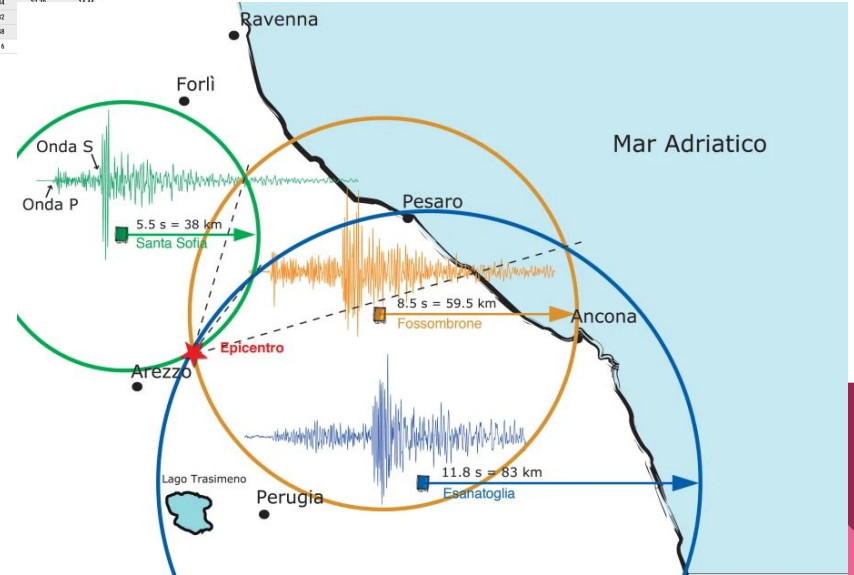
Stazioni della Rete Sismica Nazionale



Visualizza terremoti da 1 a 30 di 30 (Ordinamento Tempo Decrescente)

Esporta lista (PDF)

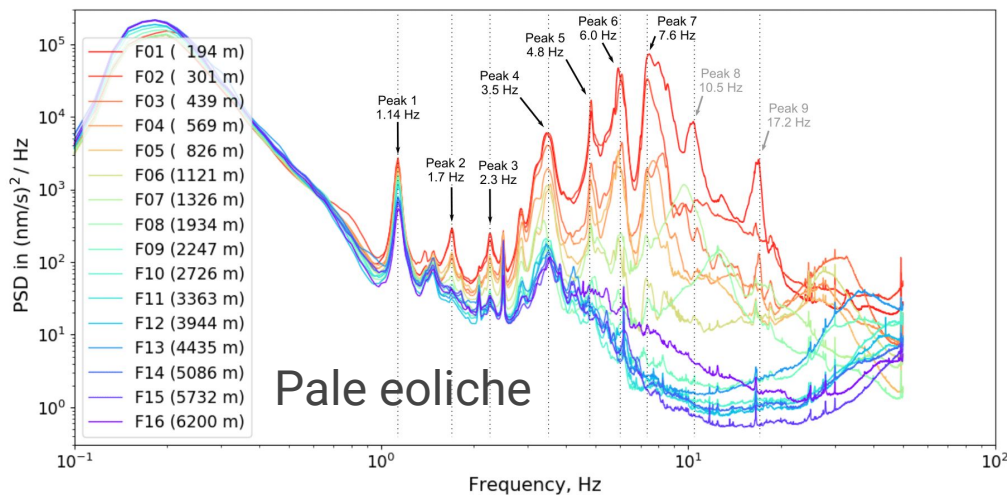
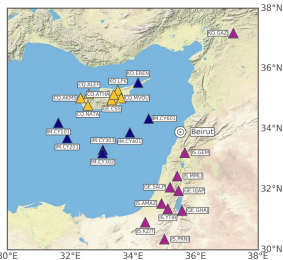
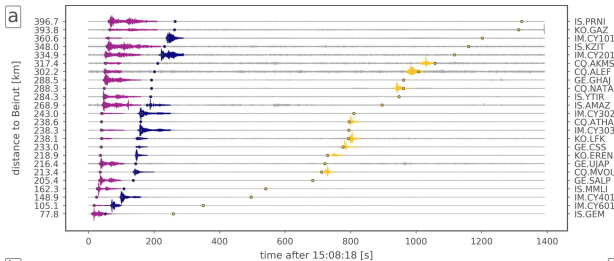
Data e Ora (Italia)	IF	Magnitudo	Zona	Profondità	Latitudine	Longitudine
2023-11-16 00:26:16	Mwp 5.7		Indonesia [Se]	306	2.04	124.18
2023-11-15 23:58:58	ML 2.2		Tirreno Meridionale (MAR)	160	38.42	15.28
2023-11-15 09:07:53	ML 2.9		1 km E Monte Cavallo (MC)	8	42.99	13.02
2023-11-15 03:00:51	ML 2.0		4 km NE Corleto Perticara (PZ)	11	40.42	16.07
2023-11-15 01:19:44	ML 2.0		11 km W Milo (CT)	0	37.75	15.00
2023-11-15 22:40:46	ML 3.3		Tirreno Meridionale (MAR)	300	38.91	14.48
2023-11-14 23:31:44	ML 2.4		7 km SW Monte Rotondo (FM)	24	43.02	13.57
2023-11-14 21:59:22	ML 3.1		2 km S Montepulciano (PM)	24	43.00	13.54
2023-11-14 20:54:11	ML 3.5		Malta [Se]	20	34.94	14.03
2023-11-14 18:13:35	Mf 3.2		Vesuvio	1	40.82	14.43
2023-11-14 17:37:50	Mw 3.9		3 km S Montepulciano (PM)	22	42.99	13.53
2023-11-14 15:57:10	ML 2.5		6 km NE Nicossa (EN)	34		
2023-11-14 15:04:52	ML 3.6		6 km SW Corchani (EN)	32		
2023-11-14 13:52:26	Mwp 5.9		Papua New Guinea [Bas]	48		
2023-11-14 08:03:34	ML 2.0		5 km N Soru (FR)	16		



I sismometri e ... le altre cose

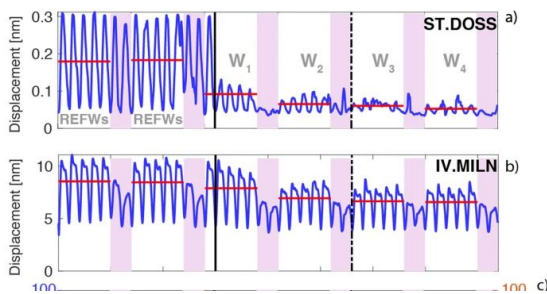


Esplosione a Beirut

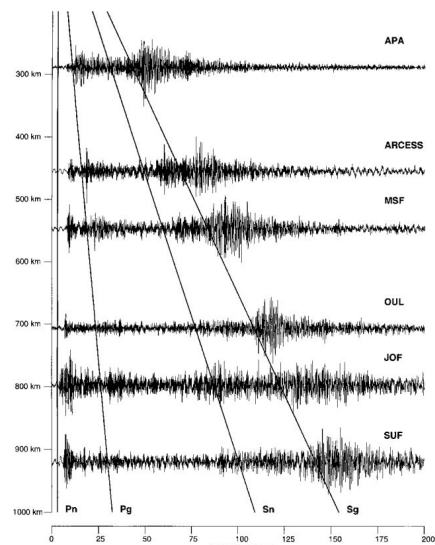


Pale eoliche

Lockdown in Italia



Sottomarino Kursk

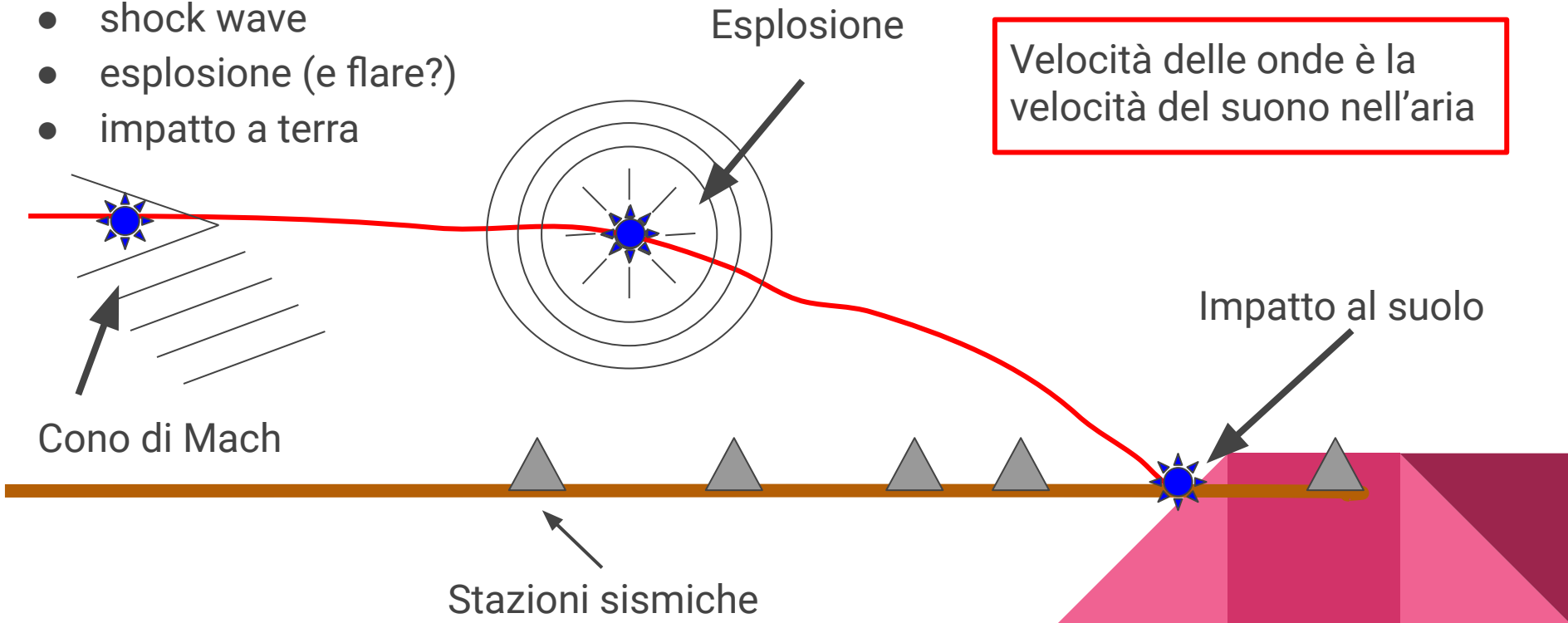


E i bolidi in atmosfera? Il caso del 5 Marzo 2022

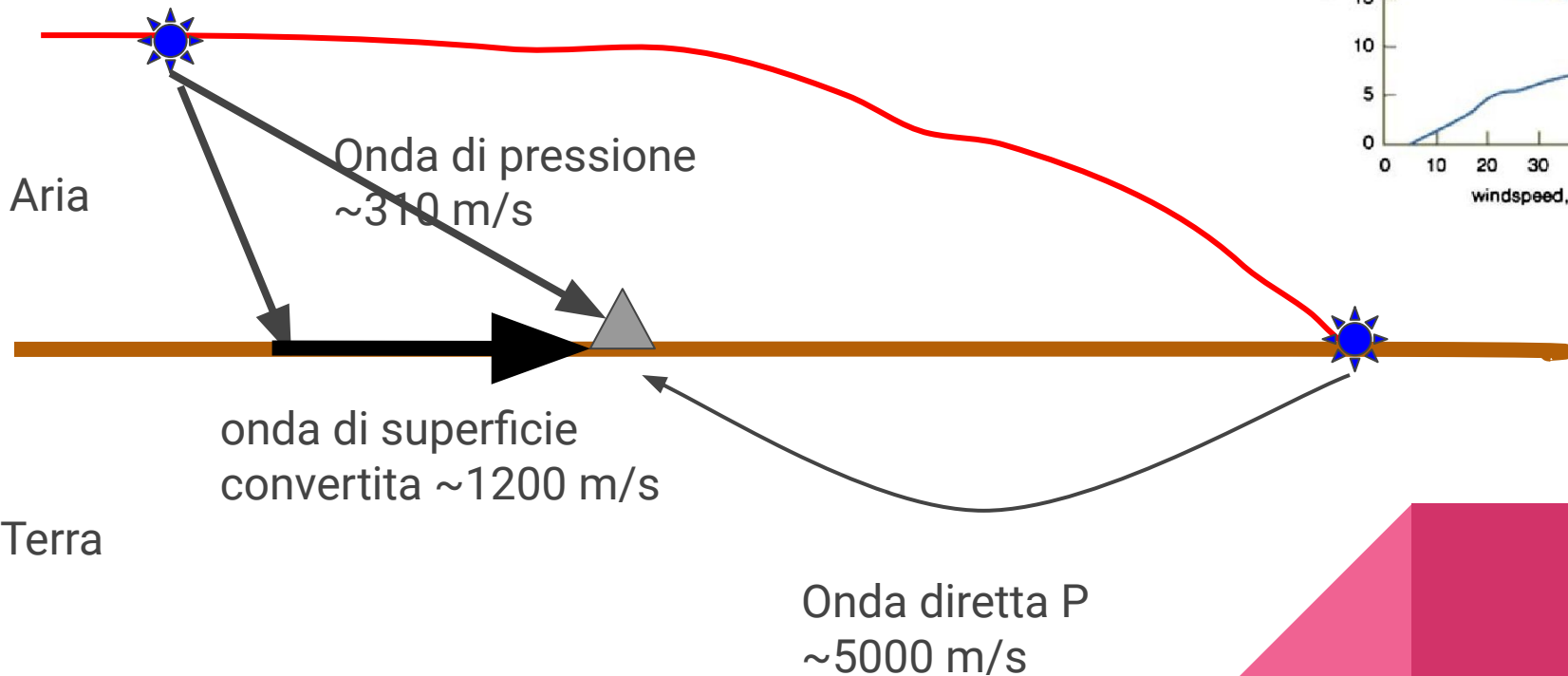
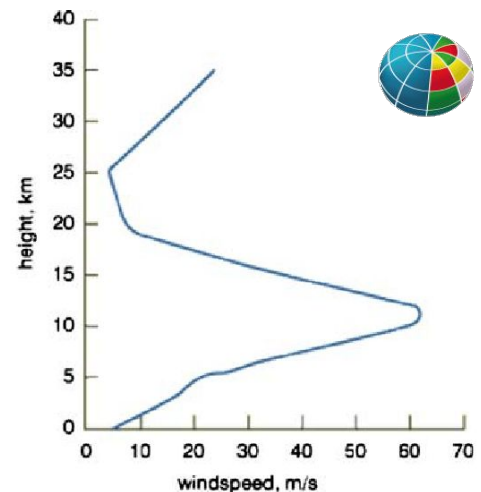


Cosa può registrare una rete sismica quando un bolide passa in atmosfera?

- shock wave
- esplosione (e flare?)
- impatto a terra



Le onde sismiche che registriamo



Risultati delle osservazioni della rete PRISMA (1/2)



- Inizio del fenomeno luminoso
 - altezza 91 km s.l.m.
 - coordinate 43.462° , 11.022°
 - velocità 15.5 km/s,
 - massa 12 Kg
 - diametro equivalente 19 cm
- fine del fenomeno luminoso
 - dopo 14.8 secondi
 - 31.5 km s.l.m con ,
 - coordinate 43.107° , 13.3904°
 - velocità di 6.4 km/s.
 - massa 1.2 kg
 - diametro equivalente 9 cm
- Traiettoria
 - inclinazione rispetto all'orizzonte: 16.5°
 - Lunghezza della traiettoria 210 km
 - azimuth 101°

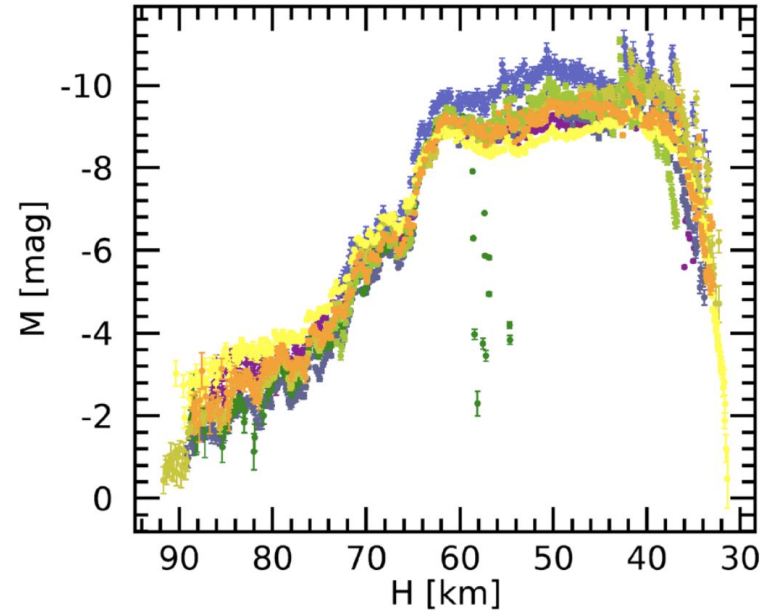


Risultati delle osservazioni della rete PRISMA (2/2)



Label	Time (UTC)	Height (km)
A	18:55:53.9	56.0
B	18:55:55.0	50.5
C	18:55:57.1	42.5
D	18:55:57.3	41.5
E	18:55:57.8	40.0
F	18:55:58.5	37.5
G	18:55:59.3	35.0

Tabella riassuntiva dei flare identificati e variazione della luminosità lungo la traiettoria per le 10 telecamere

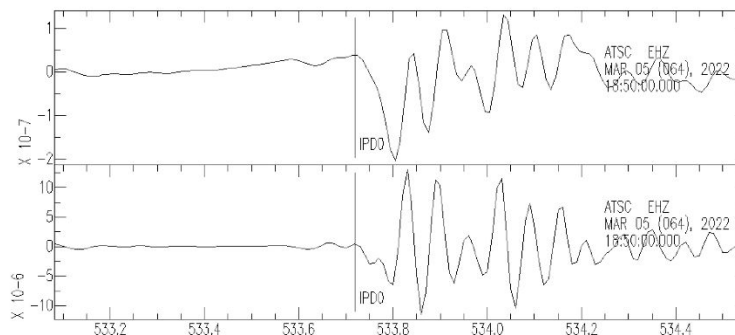
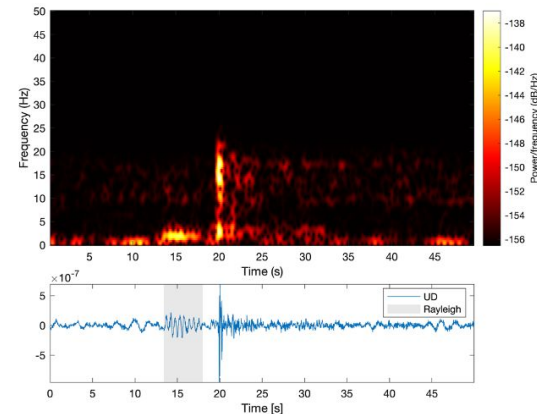
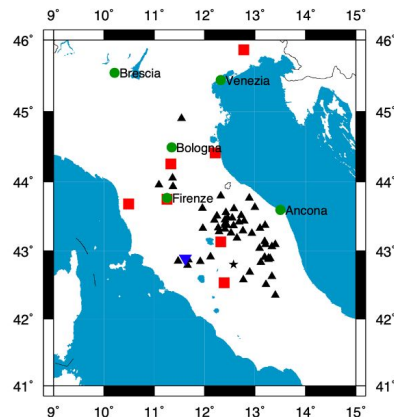
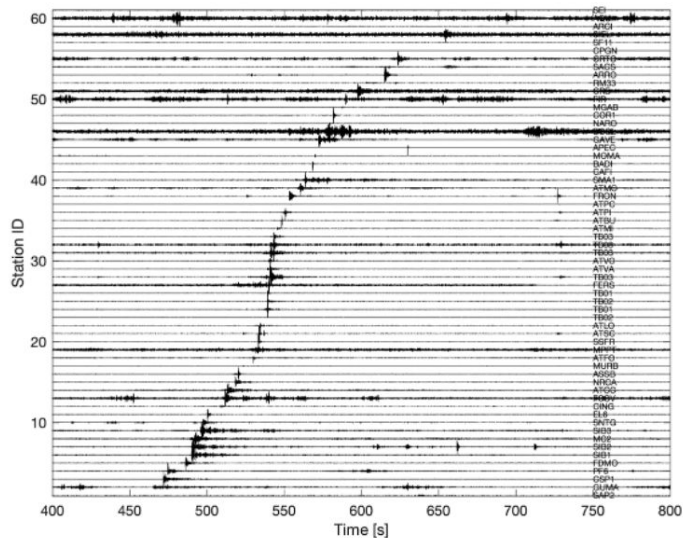


Osservazione della rete sismica nazionale INGV



Obiettivi:

- 1) caratterizzare le forme d'onda
- 2) "localizzare" la sorgente

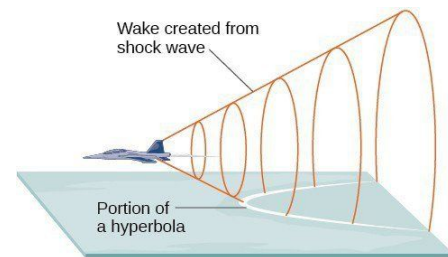
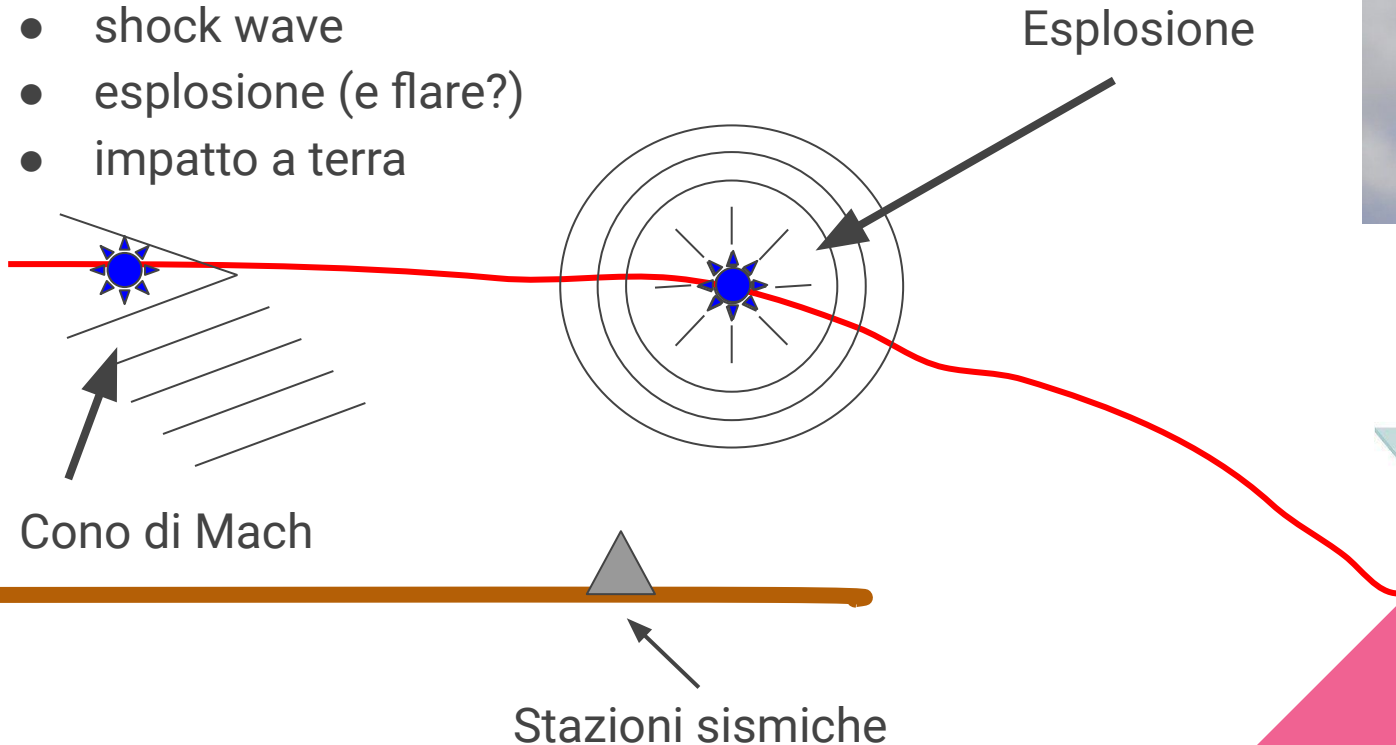


E i bolidi in atmosfera? Il caso del 5 Marzo 2022



Cosa può registrare una rete sismica quando un bolide passa in atmosfera?

- shock wave
- esplosione (e flare?)
- impatto a terra



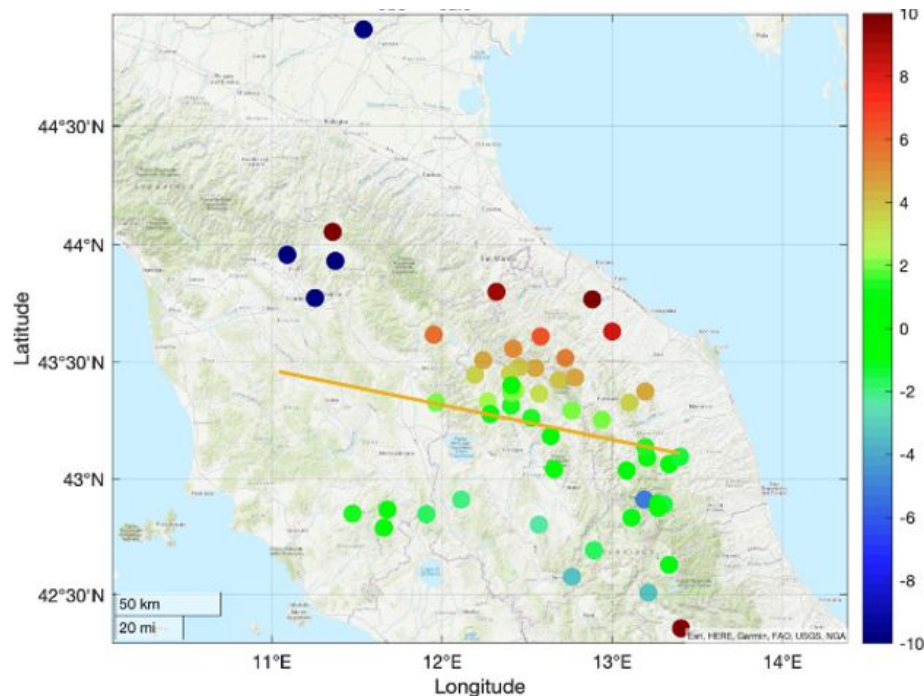
Analisi delle travel time alle 61 stazioni



Usando la traiettoria calcolata da PRISMA, l'ipotesi che si trattasse del segnale generato dal cono di Mach e usando un modello di velocità unidimensionale abbiamo calcolato i residui ($T_{teorico} - T_{osservato}$) alle stazioni.

Residui non random ma positivi a nord, e negativi a sud = dati in input sbagliati.

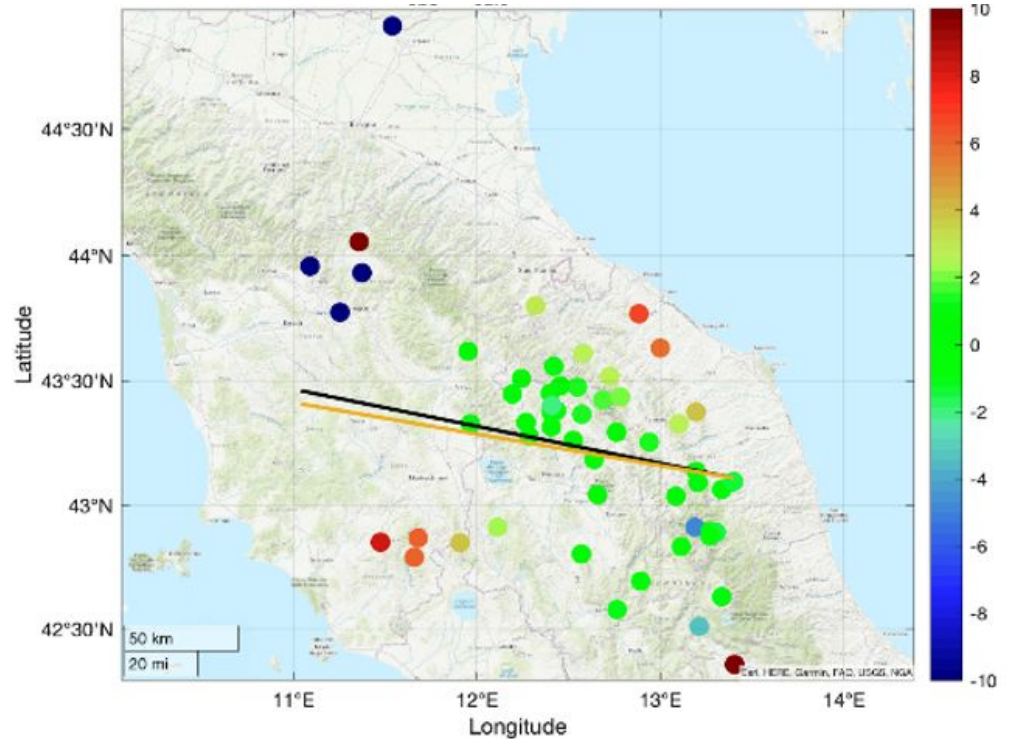
Non abbiamo considerato il vento in quota.





Correggendo per il vento

La traiettoria ruota di 6 gradi rispetto a quella calcolata dalla rete PRISMA e la distribuzione dei residui è ora più casuale a centrata sullo zero.





Secondo step sismologico

Ci siamo chiesti: possiamo localizzare la traiettoria con i soli dati sismici?

NO,

- il modello 3-D di pressione, umidità e temperatura che determina la velocità del suono e la velocità del vento non sono sufficientemente accurati.
- il dato sismico ci dice solo il tempo di arrivo e non la direzione (back-azimuth)



Conclusioni, cosa abbiamo imparato?

- Una densa rete sismica permette di rilevare il passaggio di un bolide in atmosfera
 - utile per integrare le osservazioni delle rete PRISMA quando questa è cieca
- Questi dati possono essere usati per discriminare cono di Mach ed esplosioni
- Non possiamo usare questi dati per determinare la traiettoria
- Se la massa residua (e quindi l'energia cinetica) è sufficiente possiamo usare la rete sismica per localizzare il punto di caduta. Questa dipende da:
 - massa (energia cinetica)
 - dalla densità della rete
 - dalla rumore sismico

Possiamo localizzare l'impatto al suolo?



$$E = \frac{1}{2} m (v * \sin a)^2$$

$$\log E = 5.24 + 1.44 M_w$$

$$M_w = (\log E - 5.24) / 1.44$$

se

$$m = 1 \text{ kg} / 10 \text{ kg}$$

$$v = 10 \text{ m/s}$$

$$a = 45 \text{ gradi}$$

$$E = 25 \text{ J} / 250 \text{ J}$$

$$M_w = (\log 25 - 5.24) / 1.44 = -2.7 / -1.9$$

Questo se tutta l'energia cinetica si trasforma in energia elastica, in realtà una parte dell'energia si disperde in deformazione anelastica e calore.

