



FARE LABORATORIO LICEO SCIENTIFICO - OPZIONE SCIENZE APPLICATE

# ‘SISMO-BOX: TERREMOTI FAI-DA-TE’

## KIT DIDATTICO PER SCIENZE DELLA TERRA



EUROPEAN GEOSCIENCES UNION  
EDUCATION

## PREMESSA

L'Italia è un Paese a elevatissimo rischio sismico. Per la frequenza dei terremoti che nella storia hanno interessato il territorio italiano e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto (il terremoto di Messina nel 1908, di Avezzano nel 1915, del Friuli nel 1976, dell'Irpinia nel 1980, dell'Aquila nel 2009 e la sequenza sismica del Centro Italia 2016-2017, per citarne solo qualcuno), l'impatto sulla società e sull'economia del Paese è di rilevanza notevole. Solo negli ultimi 40 anni, i terremoti che hanno colpito il nostro territorio hanno causato danni per più di 135 miliardi di euro, impiegati prevalentemente per la ricostruzione post-terremoto. A ciò si devono aggiungere le conseguenze non quantificabili in valore economico per le perdite umane e per i danni sul patrimonio storico, artistico e monumentale ([www.protezionecivile.gov.it/](http://www.protezionecivile.gov.it/)).

Quando si parla di rischio sismico non si intende solo la pericolosità legata al fatto che l'Italia è ubicata in un territorio altamente sismico. La stima del rischio sismico si ottiene infatti dalla valutazione di più fattori:

- *Pericolosità*: è legata alla sismicità di un'area, che a sua volta dipende dalla configurazione geologica del territorio. L'Italia è situata in una zona di convergenza tra la placca Africana e la placca Euroasiatica ed è quindi sottoposta a forti spinte che generano appunto i terremoti;
- *Vulnerabilità*: le conseguenze (anche gravi) che un terremoto produce dipendono principalmente da come resistono le costruzioni alle oscillazioni cui sono sottoposte durante un terremoto. La vulnerabilità è quindi la predisposizione di una costruzione a essere danneggiata da un terremoto (per le sue caratteristiche edilizie e/o per la natura delle rocce sulle quali è costruita);
- *valore esposto (o esposizione)*: legato alla possibilità che durante un terremoto beni (beni economici, vite umane, patrimonio culturale) possano subire un danno.

Dalla definizione di rischio si evince che mentre sulla pericolosità l'uomo non può intervenire perché legato alla forza della natura, sulla vulnerabilità e sul valore esposto può fare qualcosa. In particolare si può controllare (e migliorare se necessario) lo stato di salute degli edifici, rendendoli più sicuri in modo da evitare che subiscano forti danneggiamenti a causa di un terremoto. Si può, inoltre, evitare di costruire su terreni che risentano maggiormente del passaggio delle onde sismiche (o di costruirci applicando correttamente le norme indicate dalle leggi). Basti considerare che in Italia, il rapporto tra danni prodotti dai terremoti ed entità del terremoto è molto più alto rispetto a quello che si verifica normalmente in Paesi ad elevata sismicità quali la California o il Giappone. Ad esempio, il terremoto del 1997 in Umbria e nelle Marche ha prodotto un quadro di danneggiamento (senza tetto: 32.000; danno economico: circa 10 miliardi di Euro) confrontabile con quello della California del 1989 (14.5 miliardi di \$ USA), malgrado fosse caratterizzato da



un'energia circa 30 volte inferiore! Ciò è dovuto principalmente all'elevata densità abitativa e alla notevole fragilità del nostro patrimonio edilizio ([www.protezionecivile.gov.it/](http://www.protezionecivile.gov.it/)).

Un'osservazione importante è che il cittadino italiano è poco consapevole del rischio sismico. Un recente sondaggio sulla percezione del rischio sismico (<http://terremoti.ingv.it/it>) ha messo in luce come 9 cittadini su 10 residenti in 'Zona 1' (la più pericolosa perché soggetta con maggiore probabilità al verificarsi dei terremoti nel tempo) sottovalutano il pericolo che potrebbe derivare da un terremoto. Questo deriva dalla mancanza di educazione della cittadinanza alla conoscenza del proprio territorio e da una cattiva gestione dello stesso.

L'obiettivo principale del Kit didattico per le scuole 'Sismo-box: Terremoti fai-da-te' è di stimolare gli studenti (i cittadini di domani) alla conoscenza del fenomeno naturale 'terremoto', e in particolare alla consapevolezza delle conseguenze che un terremoto può avere in relazione alla tipologia dei terreni sui quali si costruisce e alla tipologia di costruzioni edificate nelle zone maggiormente colpite dal terremoto.

## **PRESENTAZIONE DEL KIT**

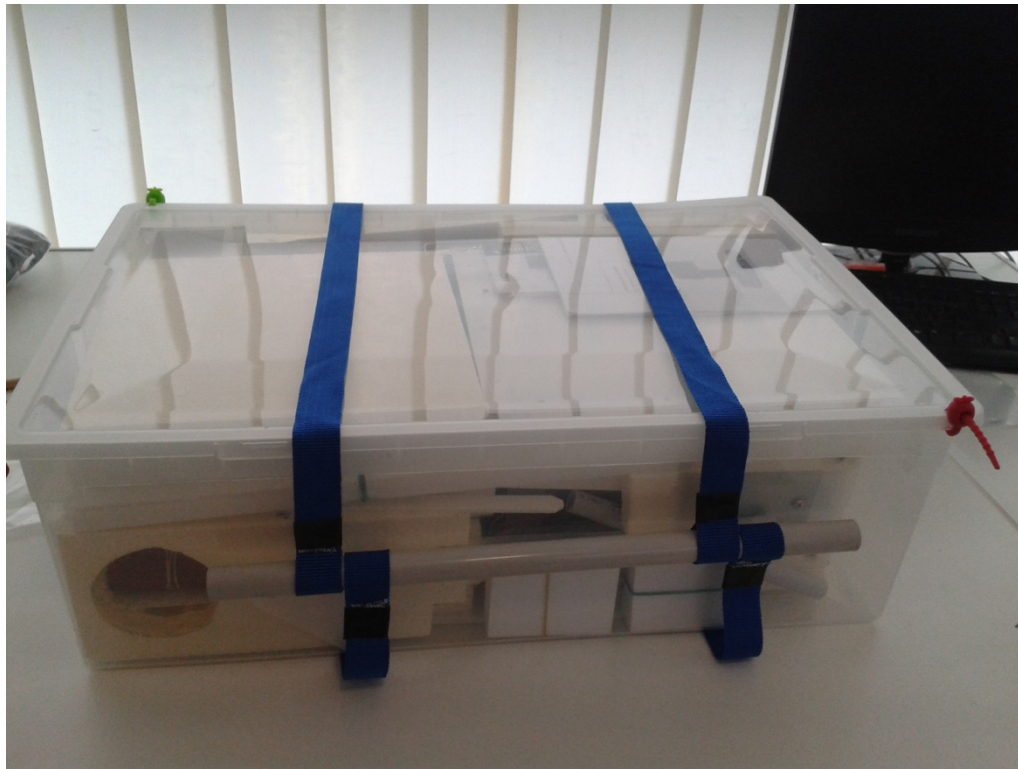
L'idea di proporre il Kit didattico 'Sismo-box: Terremoti fai-da-te' nell'ambito del progetto LS-OSA nasce da alcuni ricercatori del Dipartimento di Scienze dell'Università di Roma Tre, delegati italiani della Committee on Education (CoE) dello European Geosciences Union (EGU), attivamente coinvolti in attività di aggiornamento degli insegnanti di Scienze e di diffusione della cultura scientifica in ambito internazionale (<http://www.egu.eu/education/committee>). Il CoE promuove la programmazione e il coordinamento di attività di formazione, attraverso il workshop GIFT (Geosciences Information for Teachers), destinato ai docenti di Scienze delle scuole di ogni ordine e grado, articolato in seminari e attività di laboratorio (<http://www.egu.eu/outreach/gift/>). Tra le attività di laboratorio proposte, il Kit didattico 'The Seismo-box: do it yourself' è sicuramente quello ha avuto maggiore successo tra gli insegnanti di Scienze. L'ideatore di questa curiosa 'scatola sismica' è un professore francese, Francois Tilquin, insegnante di Scienze presso il Lycée Marie Curie, vicino Grenoble. Il Prof. Tilquin durante il suo insegnamento si è appassionato alla sismologia, approfondendo gli studi sui terremoti. Una delle sue missioni principali è quella di stimolare gli studenti alle attività pratiche di laboratorio, anche attraverso la realizzazione di apparati sperimentali.

Il Kit didattico 'Sismo-box: Terremoti fai-da-te' presentato in questa guida s'ispira liberamente al suo 'cugino d'Oltralpe'. La guida al Kit contiene le indicazioni sul suo contenuto e su quali esperienze posso essere fatte con gli studenti in classe. Per maggiori approfondimenti consigliamo di visitare il sito [www.sismobox.com](http://www.sismobox.com) gestito dal Prof. Tilquin. Inoltre, per curiosità,

approfondimenti ed eventuali collaborazioni, invitiamo a contattare direttamente il Prof. Tilquin ([francois.tilquin.38@gmail.com](mailto:francois.tilquin.38@gmail.com)), molto disponibile a contribuire alla diffusione della cultura scientifica (è stato di recente nominato ‘Ambassador of Education’ della European Geosciences Union). Questa guida, inoltre, contiene le indicazioni su come costruire una ‘Sismo-box’: viene fornita la lista dei materiali necessari da acquistare, suggerimenti su dove acquistarli e le modalità di realizzazione delle singole parti del Kit.

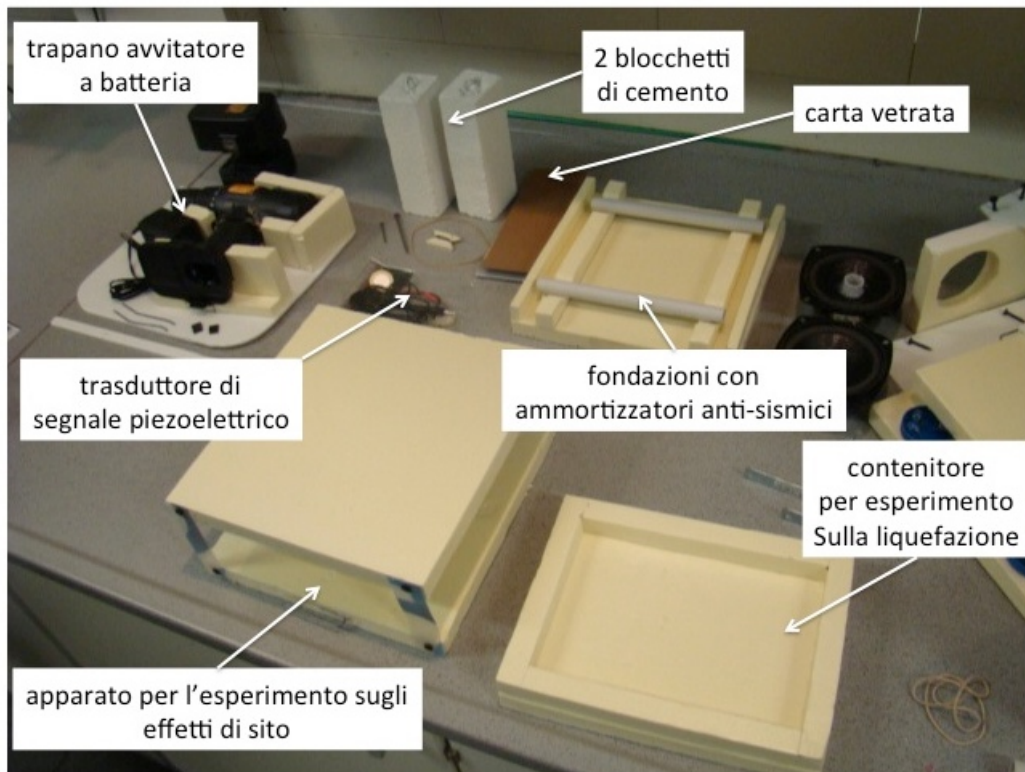
## CONTENUTO DEL KIT E SOFTWARE

Il Kit contiene una serie di attrezzature e di elementi da montare in modo da ottenere gli apparati per la realizzazione degli esperimenti. Inoltre il Kit include un dvd nel quale si trova il software da installare ([Sismo-logic.exe](#)) per la realizzazione degli esperimenti. La prima volta che si installa il *software* (contenuto in una cartella zippata) verrà proposto automaticamente di estrarre i *files* in una nuova cartella chiamata Tilquin (c:/Tilquin). Una volta installato tutto, si può cambiare nome alla cartella. Tutto il materiale è contenuto in una scatola facile da trasportare. Quello che risulta più difficile è invece risistemare tutto alla fine degli esperimenti! In Appendice A2 sono riportate delle foto per agevolare la ‘ricomposizione’ del Kit!

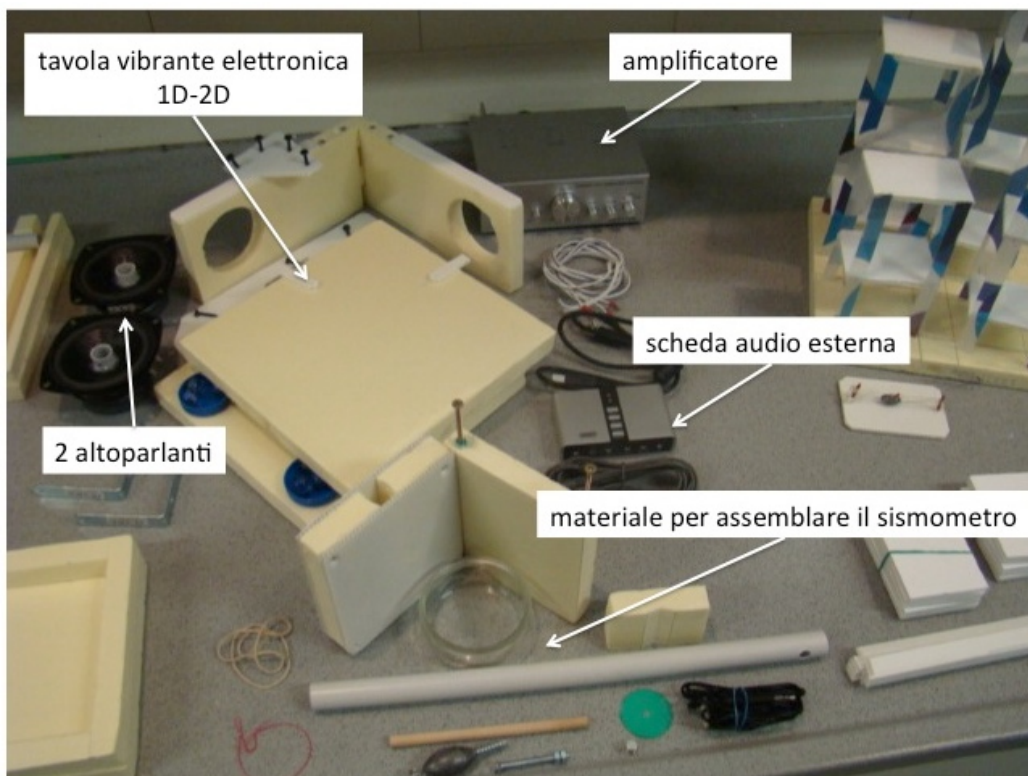


*Fig. 1 Come si presenta il Kit ‘Sismo-box: Terremoti fai-da-te’.*

I singoli elementi sono semplici da assemblare (per ogni esperimento sono fornite le spiegazioni su cosa serve e su come predisporlo per la realizzazione dello stesso). Nelle Figure 2, 3 e 4 è illustrato in dettaglio il contenuto del Kit.



*Fig. 2. Dettagli del contenuto del Kit.*



*Fig. 3. Dettagli del contenuto del Kit.*



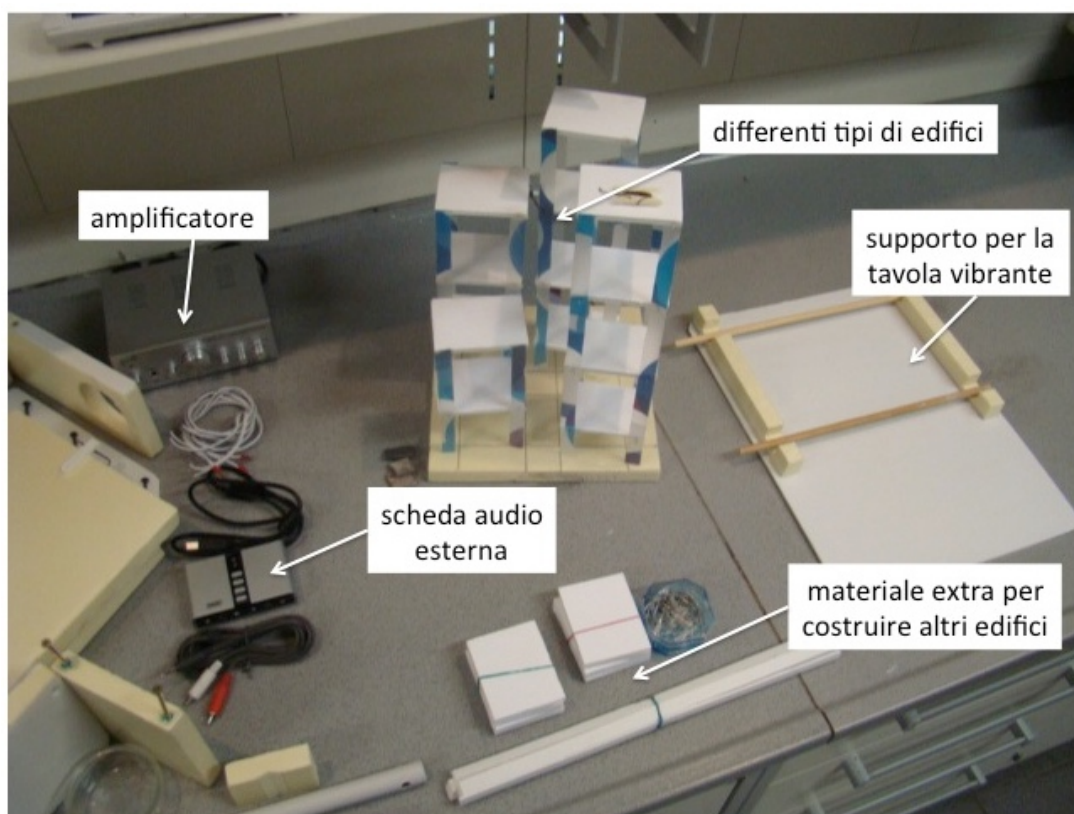


Fig. 4. Dettagli del contenuto del Kit.

## GUIDA AGLI ESPERIMENTI

Gli esperimenti che vengono proposti nel Kit didattico ‘Sismo-box: Terremoti fai-da-te’ sono di due tipi. Un primo set di esperimenti è dedicato alla comprensione fisica del terremoto. Sono proposte esperienze come la costruzione di un sismometro, la misura un terremoto, l’origine terremoti (come si registrano le onde sismiche prodotte dalla rottura di una roccia), il fenomeno dello *stick-slip* (l’energia accumulata durante il movimento sismico e i tempi di ricorrenza di un terremoto), la visualizzazione delle vibrazioni prodotte da un terremoto ‘reale’. Un secondo set di esperimenti è invece dedicato a quali sono gli effetti di un terremoto in funzione della tipologia di costruzioni e dei terreni sui quali le costruzioni si fondano. In particolare viene illustrata la risonanza di edifici di altezza diversa, come varia l’effetto del terremoto in funzione della tipologia degli edifici, il fenomeno della liquefazione, la risposta sismica locale in funzione del tipo di terreno di fondazione (effetto di sito). Ogni esperimento è corredato da informazioni sull’occorrente del Kit necessario e sulla procedura da seguire, e da una parte che spiega il fenomeno fisico che vogliamo osservare. Per chi volesse approfondire le potenzialità del Kit e dei software contenuti nel DVD, consigliamo di consultare il seguente sito [www.sismobox.com](http://www.sismobox.com) e/o di contattare il Prof. Francois Tilquin e la Prof.ssa Francesca Cifelli del Dipartimento di Scienze ([francesca.cifelli@uniroma3.it](mailto:francesca.cifelli@uniroma3.it)).

# 1. IMPARIAMO A CONOSCERE I TERREMOTI

## 1A. Costruiamo un sismometro

### Principi base

Il terremoto è uno scuotimento della superficie libera della Terra, generato da una discontinuità del campo elastico localizzata in un volume della crosta terrestre in un determinato momento. Tale discontinuità è associata alla formazione di una nuova superficie “frattura”; l’energia che genera tale frattura si propaga in tutto il mezzo (crosta terrestre) sotto forma di onde elastiche. Le onde elastiche si osservano sulla superficie fisica della Terra come uno scuotimento dei punti che la costituiscono.

Gli strumenti che rivelano questo movimento sono chiamati sismometri. Un sismometro è un sistema elettro-meccanico atto a misurare nel dominio del tempo lo spostamento, la velocità o l’accelerazione di un punto del terreno. Il sistema è costituito da un sistema massa magnetica-molla, oscillante in una bobina costituita da  $n$  spire.

Se il movimento del terreno dove poggia lo strumento è sufficientemente veloce, la massa rimarrà ferma, fornendo un punto di riferimento fisso nello spazio rispetto al quale si possono misurare gli spostamenti generati dal moto del terreno. Il moto della massa magnetica (moto relativo) nella bobina, genera una corrente nelle sue spire (corrente indotta); tale corrente può essere rilevata ai capi della bobina. Tale fenomeno è noto come induzione elettromagnetica. I sismometri sono di due tipi, a seconda del moto relativo della massa magnetica: se il moto è verticale il sismometro si definisce verticale ed il segnale fornito descrive l’andamento temporale della componente verticale del moto del terreno. Se il moto della massa è orizzontale, il sismometro si definisce orizzontale e il segnale fornito descrive l’andamento temporale della componente orizzontale del moto del terreno. L’andamento temporale del moto del terreno descrive il sismogramma.

### Obiettivo dell’esperienza

Capire come funziona un sismometro e come si registrano le onde sismiche.

### Cosa prendiamo dalla scatola?

Il Kit contiene tutte le parti necessarie per la realizzazione di un sismometro (Fig. 5). Per realizzare l’esperimento si utilizza (i numeri sono riferiti alla Figura 5):

- 1-2) supporti del sismometro da fissare con le viti in dotazione;
- 3) supporto per la bobina;

- 4) contenitore per acqua che serve come sistema di smorzamento del moto (nel Kit in dotazione è il barattolo che contiene i componenti del sismometro);
- 5) tubo di plastica forato all'estremità da fissare nel supporto 1;
- 6) scheda audio esterna (non serve nel caso si usi un computer fisso e non un portatile)
- 7) asticella da fissare nel tubo di plastica;
- 8) massa da unire con il magnete;
- 9) elastici di supporto;
- 10) magneti;
- 11) bobina;
- 12) vite da applicare ai magneti;
- 13) rondella di plastica da applicare a 12);
- 14) elastico 'molla' al quale è appesa la massa (magnete).

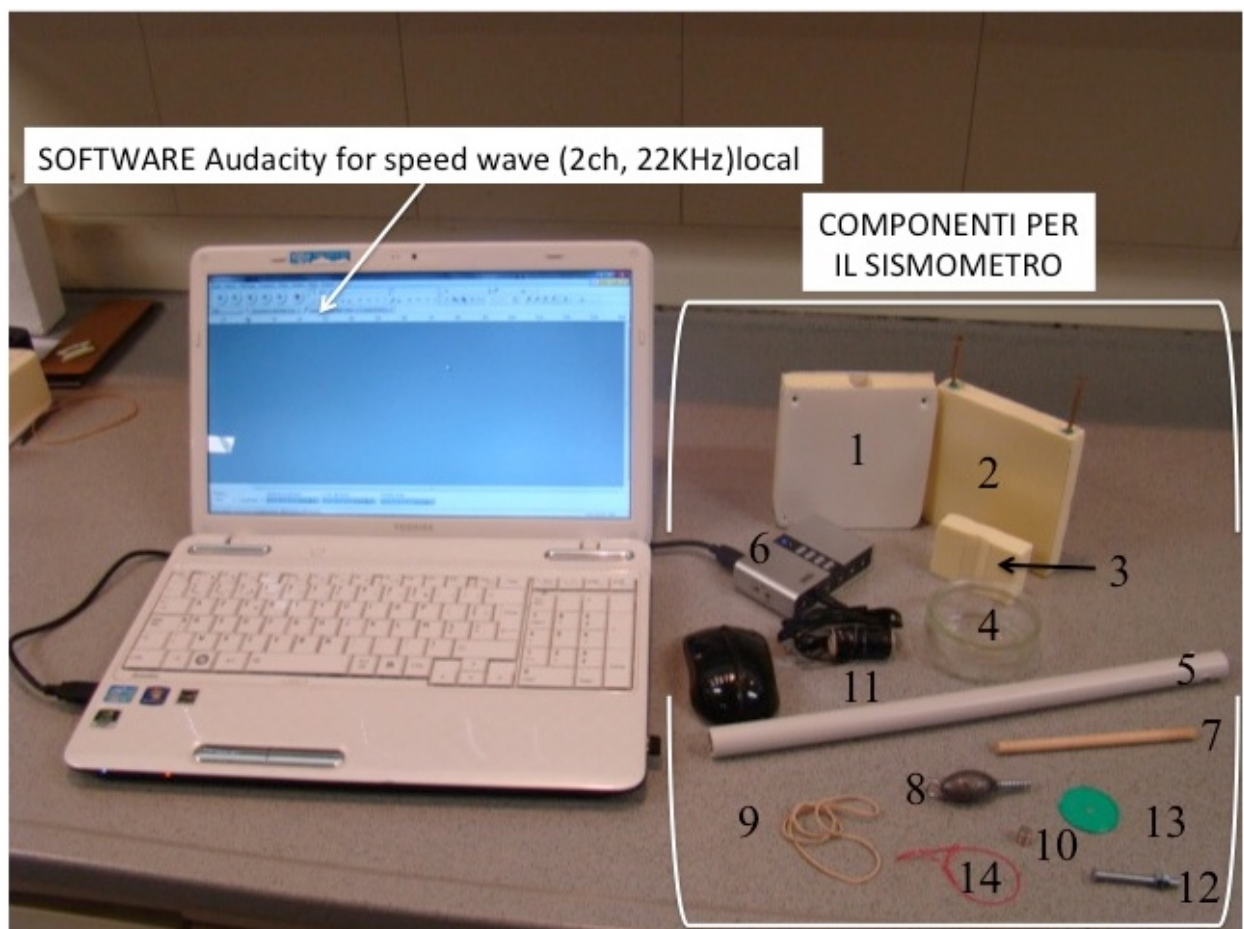


Fig. 5 - Cosa serve per montare e utilizzare un sismometro.

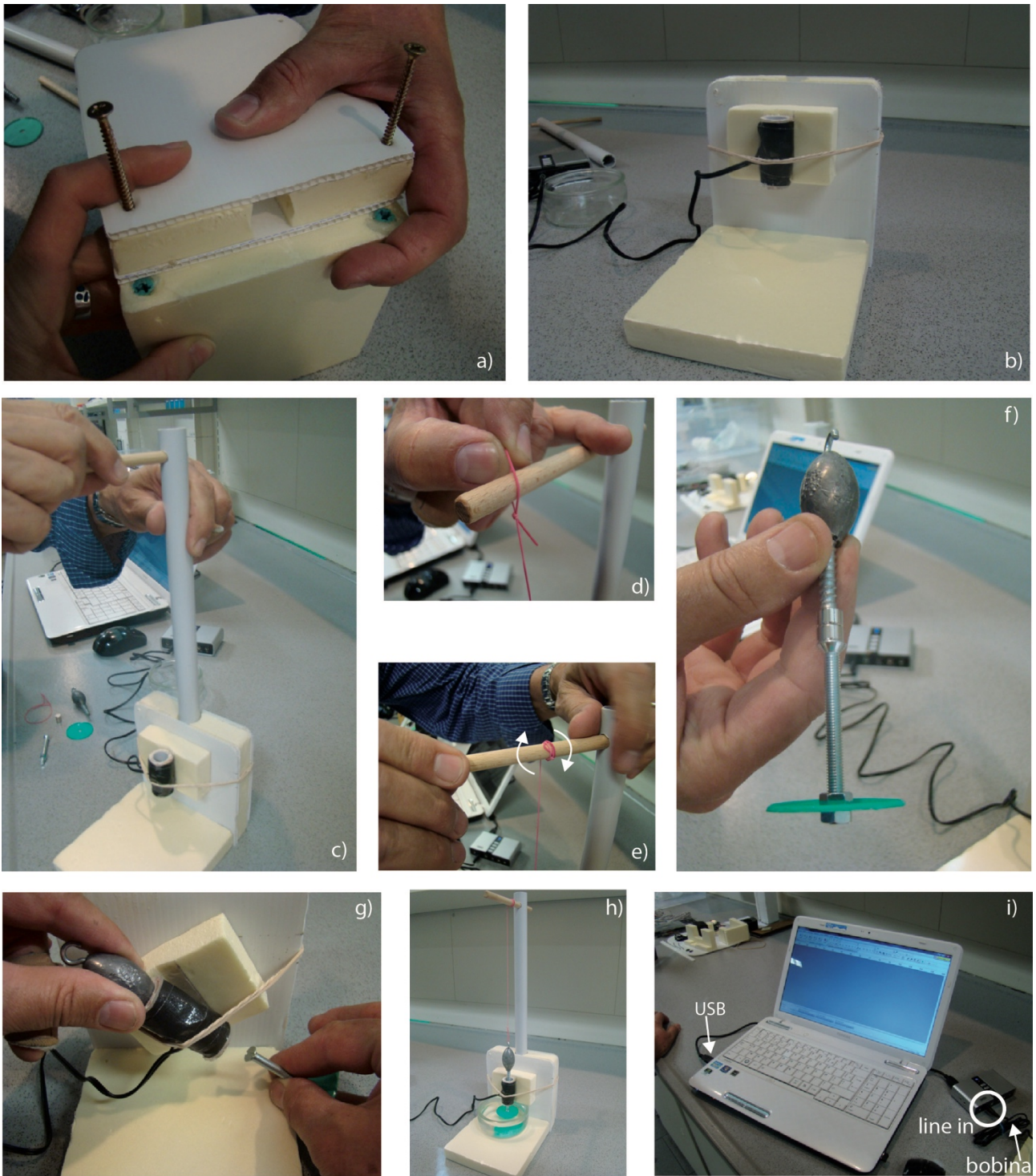
### Esperimento

Si prepara l'attrezzatura come riportato in Figura 6. Durante l'allestimento si ricorda di:

- fissare il supporto del sismometro sul tavolo con nastro adesivo in modo tale da renderlo solidale con esso;
- centrare i magneti rispetto alla bobina in modo tale che si trovino a metà della bobina. Per fare questo arrotolare o srotolare l'elastico (14) attorno all'asticella di legno (Fig. 6e) in modo tale da ottenere l'altezza corretta;
- centrare i magneti rispetto al suo diametro interno, in modo tale che si possa muovere verticalmente senza ostacoli;
- collegare la bobina alla scheda audio esterna (la prima volta che si usa la scheda audio esterna va installata sul computer) e quest'ultima al computer (Fig. 6i);
- Aprire dal menu a tendina SISMO LOGIC il programma '*Audacity for speed wave*' (Fig. 7).

L'esperimento consiste nell'avviare la registrazione (Fig. 8), nel colpire il tavolo con un pugno (Fig. 9) e nell'osservare la traccia di registrazione che si produce (Fig. 10). Quando si batte sul tavolo (si simula un terremoto), il sistema massa-magnete rimane immobile (per il Principio di Inerzia) mentre l'intelaiatura del sismometro si muove solidalmente con il terreno che è stato sollecitato (Fig. 9). E' proprio questa variazione di movimento relativa tra magnete e bobina che genera una corrente registrata dal computer. Provate a effettuare l'esperimento con acqua e senza acqua nel contenitore alla base del sismometro e provate a descrivere cosa succede. Per vedere il video clicca [qui](#).





*Fig. 6. Allestimento del sismometro.*



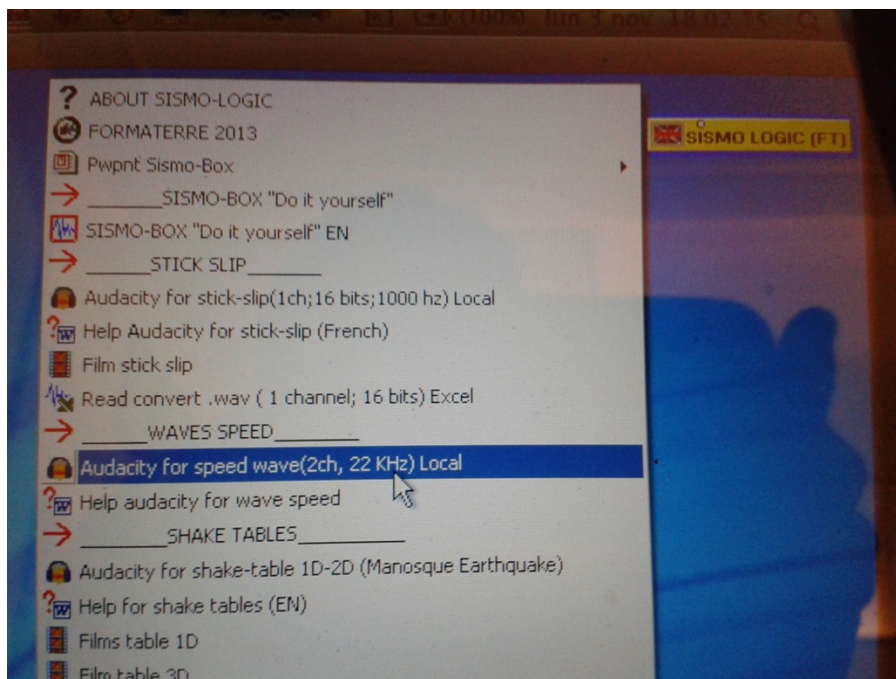


Fig. 7 – Programma da aprire per l'esperimento. Si ricorda che quando si installa simo-logic sul computer, al momento dell'estrazione dei files verrà automaticamente richiesto di salvarli in c:\Tilquin. Una volta salvati tutti i files in questa cartella, si può cambiare il nome.

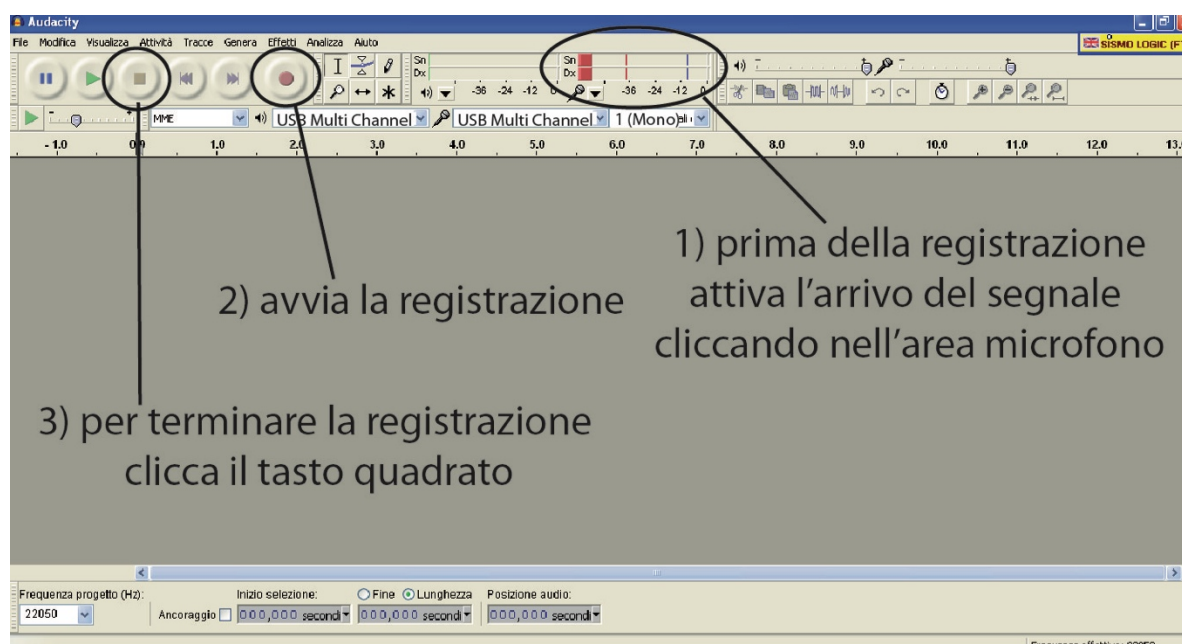


Fig. 8 – Come utilizzare il software. 1) cliccare nell'area registrazione per verificare che il computer registri (va disattivato il microfono interno al computer se si usa un portatile). Muovendo il magnete all'interno della bobina si può verificare il segnale. Inoltre, nel menu a tendina microfono (in basso a sinistra rispetto l'area registrazione) va selezionato 'USB Multi Channel line in' (è la quinta opzione partendo dall'alto). 2) e 3) sono i passi che servono per avviare la registrazione e per interromperla.

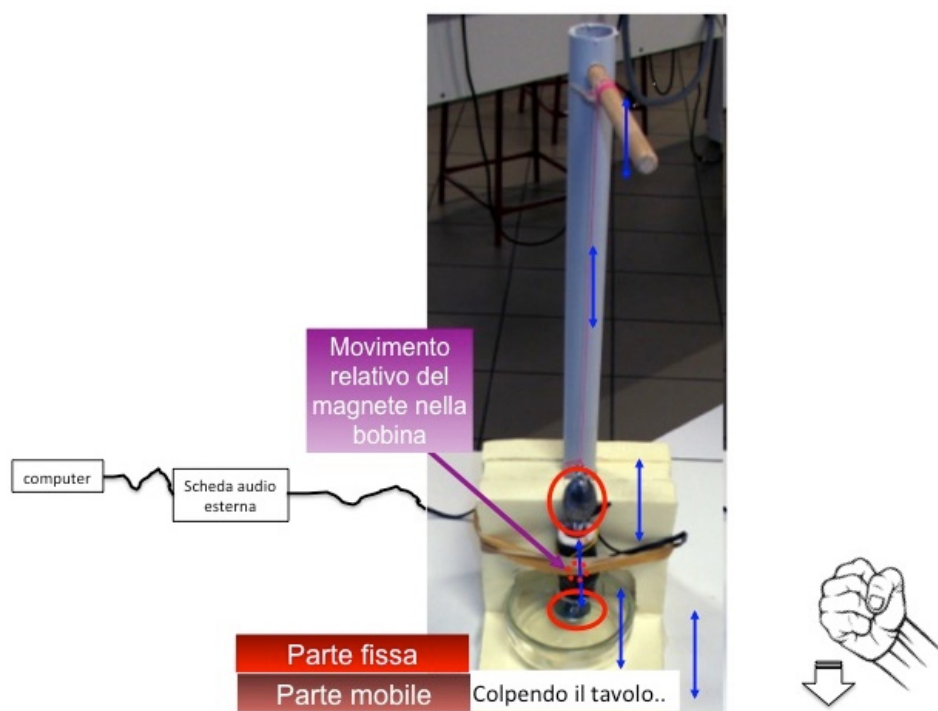


Fig. 9 – Colpendo il tavolo (la ‘Terra’) con un pugno si simula un terremoto. Ragionare sulle parti del sismometro che rimangono fisse e le parti che invece si muovono durante il movimento.

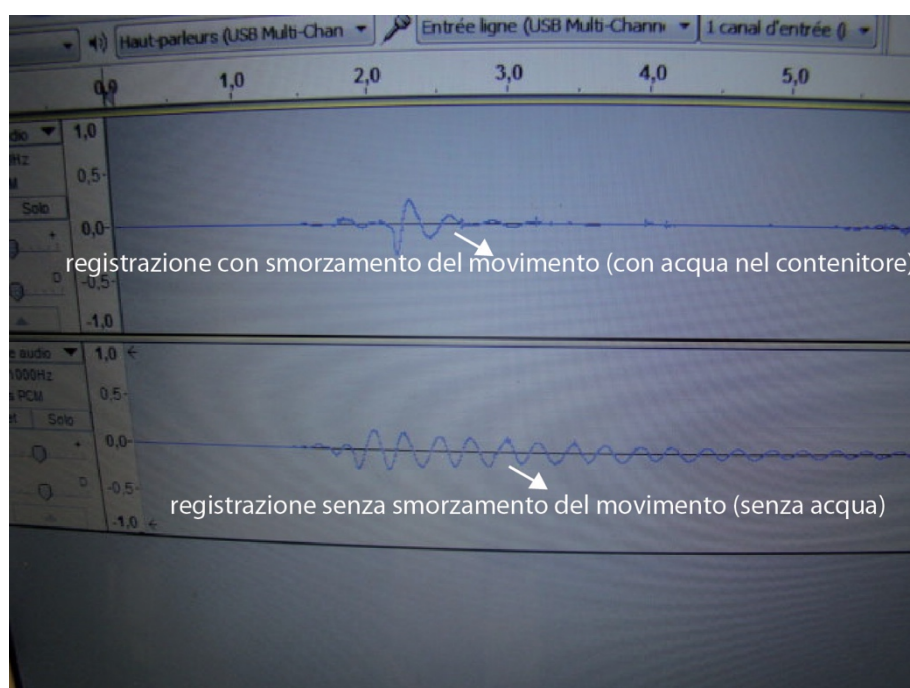


Fig. 10 – Registrazione del movimento del terreno (sismogramma). L’acqua funziona da ‘sistema di smorzamento’ per ridurre le ampiezze del segnale. Per ingrandire i sismogrammi si deve cliccare con il cursore dove si vuole ingrandire e utilizzare i simboli lente che si trovano in alto a destra della schermata del programma.

## 1B. Come si originano i terremoti

### Principi base

Come visto nell'esperimento precedente, il terremoto è una vibrazione più o meno forte della Terra causata da una rapida liberazione di energia meccanica in profondità. Il terremoto si genera quando le rocce che sono sottoposte a uno sforzo (legato al movimento tra placche litosferiche) si rompono all'improvviso. Questa rottura può avvenire lungo un piano (chiamato *piano di faglia*) nuovo o già esistente (che è temporaneamente 'bloccato' dalle forze di attrito). La rottura genera delle vibrazioni (onde sismiche) che si propagano dal punto di origine del terremoto (ipocentro) e che si attenuano con la distanza.

### Obiettivo dell'esperienza

Capire come si origina un terremoto, registrarlo in due stazioni a distanza diversa dall'ipocentro in modo tale da capire come si propagano le onde sismiche nei mezzi.

### Cosa prendiamo dalla scatola?

Dal Kit è necessario prendere (Fig. 11):

- uno dei blocchi in Syporex
- il rotolo di carta vetrata
- un pezzo di lasagna rigida
- il trasduttore di segnale piezoelettrico
- la scheda audio esterna

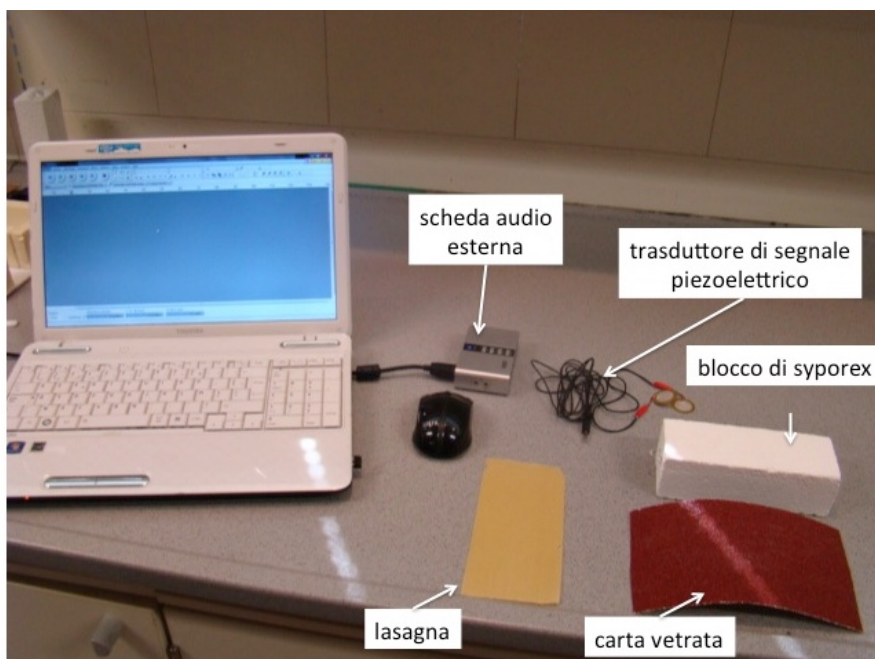


Fig. 11 – Attrezzatura occorrente per l'esperimento su come si originano i terremoti.



### Esperimento

Si utilizza lo stesso programma utilizzato per il funzionamento del sismometro. Aprire quindi dal menu a tendina SISMO LOGIC il programma 'Audacity for speed wave' (Fig. 7), configurando però la registrazione su '2 (stereo) canali di ingresso', e attivando la registrazione cliccando nell'area microfono (Fig. 8).

Avviare la registrazione con il tasto rosso e applicare una pressione forte e decisa sulla lasagna in modo tale da romperla di netto (Fig. 12). Questa esperienza simula la formazione di una nuova superficie di rottura (faglia). I due sensori piezoelettrici hanno il ruolo di trasformare l'energia meccanica dovuta alle vibrazioni del tavolo (terra) in energia elettrica. Il segnale così rilevato viene trasmesso al computer e visualizzato come sismogramma. Si ottengono due sismogrammi, uno per piezoelettrico (Fig. 13). Misurando la distanza tra i due piezoelettrici  $\Delta s$  la differenza temporale tra gli arrivi del primo impulso del segnale rilevato dai due piezometri  $\Delta t$ , è possibile valutare la velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo in studio:  $v = \Delta s / \Delta t$  (nell'esperimento in foto il tavolo da lavoro).

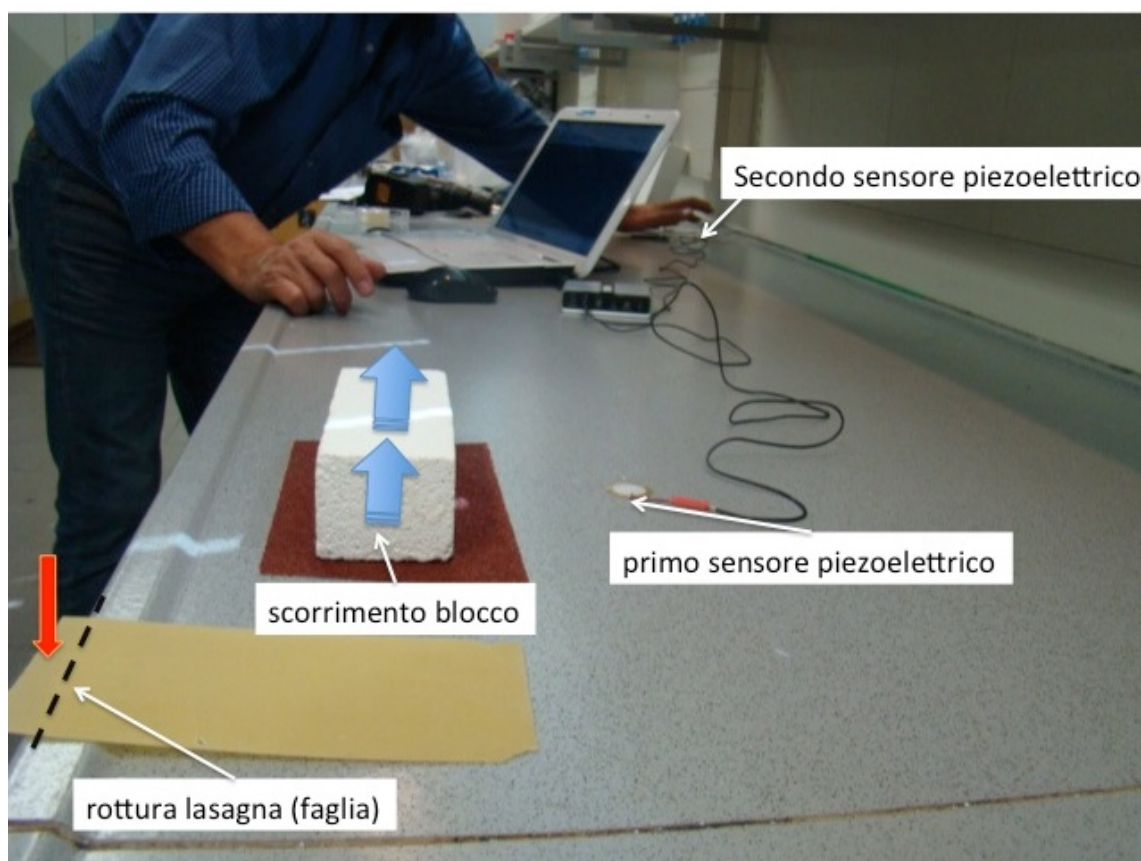


Fig. 12 – Configurazione dell'esperimento su come si originano i terremoti. Ricorda che il trasduttore di segnale piezoelettrico deve essere collegato alla scheda audio esterna (line-in) la quale a sua volta deve essere collegata al computer. Per vedere il video clicca [qui](#).

### Note

Per calcolare la velocità di propagazione delle onde nel mezzo, è necessario conoscere il tempo che intercorre tra gli arrivi delle onde nei due sismogrammi. Per fare questo selezionare sul monitor (Fig. 13) l'intervallo di tempo tra i due sensori piezoelettrici (si fa cliccando sul primo arrivo di onda nel primo sismogramma e trascinando il cursore fino al primo arrivo di onda nel secondo sismogramma). Si legge poi in basso alla schermata il numero di campioni e si moltiplica  $\times 1/22050$  (frequenza di acquisizione impostata per il progetto). Si ottiene così il valore di tempo in secondi.

Variando la velocità delle onde sismiche in funzione del mezzo attraversato, si può ripetere l'esperimento utilizzando piani d'appoggio di materiale differente (tavolo in legno, polistirene, cemento, ecc) per apprezzare come la velocità varia in funzione del mezzo.

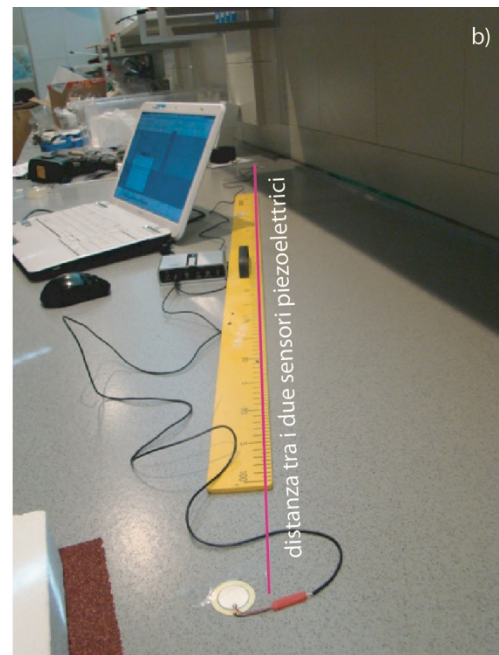
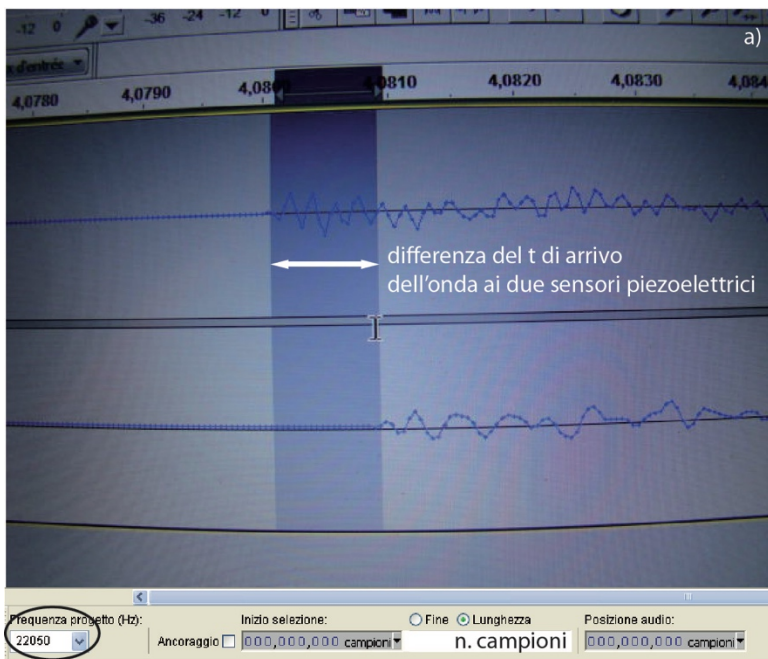


Fig. 13 – a) Sismogrammi prodotti dalla rottura della lasagna. I due sensori piezoelettrici registrano l'arrivo delle onde. È riportata la differenza di tempo che intercorre tra i due arrivi delle onde ai sensori piezoelettrici (quello in alto più vicino, quello in basso più lontano). b) nota la differenza di  $t$  e la distanza tra i due sensori piezoelettrici è possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde nel mezzo (tavolo o supporto diverso).

## 1C. La dinamica ‘stick-slip’ nel processo sismogenetico: È possibile prevedere i terremoti?

### Principi base

L’attrito è un ‘ingrediente’ fondamentale del nostro quotidiano. Concentrandoci sul solo attrito di contatto, il suo ruolo è evidente quando vogliamo spingere o trascinare un oggetto pesante. È noto che è molto più difficile spostare tale oggetto dalla sua posizione di quiete (quando agisce la forza d’attrito statico) di quanto non sia tenerlo in movimento una volta che lo spostamento si è avviato (quando agisce la forza d’attrito dinamico). L’alternarsi di fasi di prevalenza dell’attrito statico e dinamico caratterizza una vasta quantità di fenomeni naturali nei quali l’interazione di contatto tra due materiali è mediata dalle proprietà elastiche del sistema. In questi fenomeni durante la fase di dominanza dell’attrito statico s’immagazzina energia potenziale elastica cui segue una fase in cui l’energia immagazzinata si trasforma in energia cinetica, finché il sistema non torna nello stato di quiete e comincia un nuovo ciclo. Questa peculiare dinamica, detta di tipo *stick-slip* (cioè aderenza-slittamento), caratterizza anche le faglie sismogenetiche, fratture della roccia che mostrano evidenze di rapido movimento relativo e conseguente rilascio di energia. Solo quando lungo la faglia sismogenetica l’accumulo di energia elastica prodotta dagli sforzi tettonici diventa sufficientemente grande da vincere le forze di attrito statico, le masse rocciose a contatto lungo la faglia di mobilitano rapidamente rilasciando energia cinetica e termica. L’energia complessiva rilasciata,  $E$ , data dalla relazione

$$E = \sigma A \delta$$

dove  $\sigma$  è lo stress medio rilasciato durante il moto della faglia,  $A$  è la superficie della faglia e  $\delta$  lo spostamento avvenuto lungo la faglia. L’analogo più semplice per rappresentare la dinamica dello *stick-slip* è noto come “*spring block*” ed è proposto in questa esperienza dove verranno realizzate specifiche speculazioni sulla dinamica dei terremoti.

### Obiettivi dell’esperienza

Con riferimento ai terremoti, gli obiettivi dell’esperienza sono:

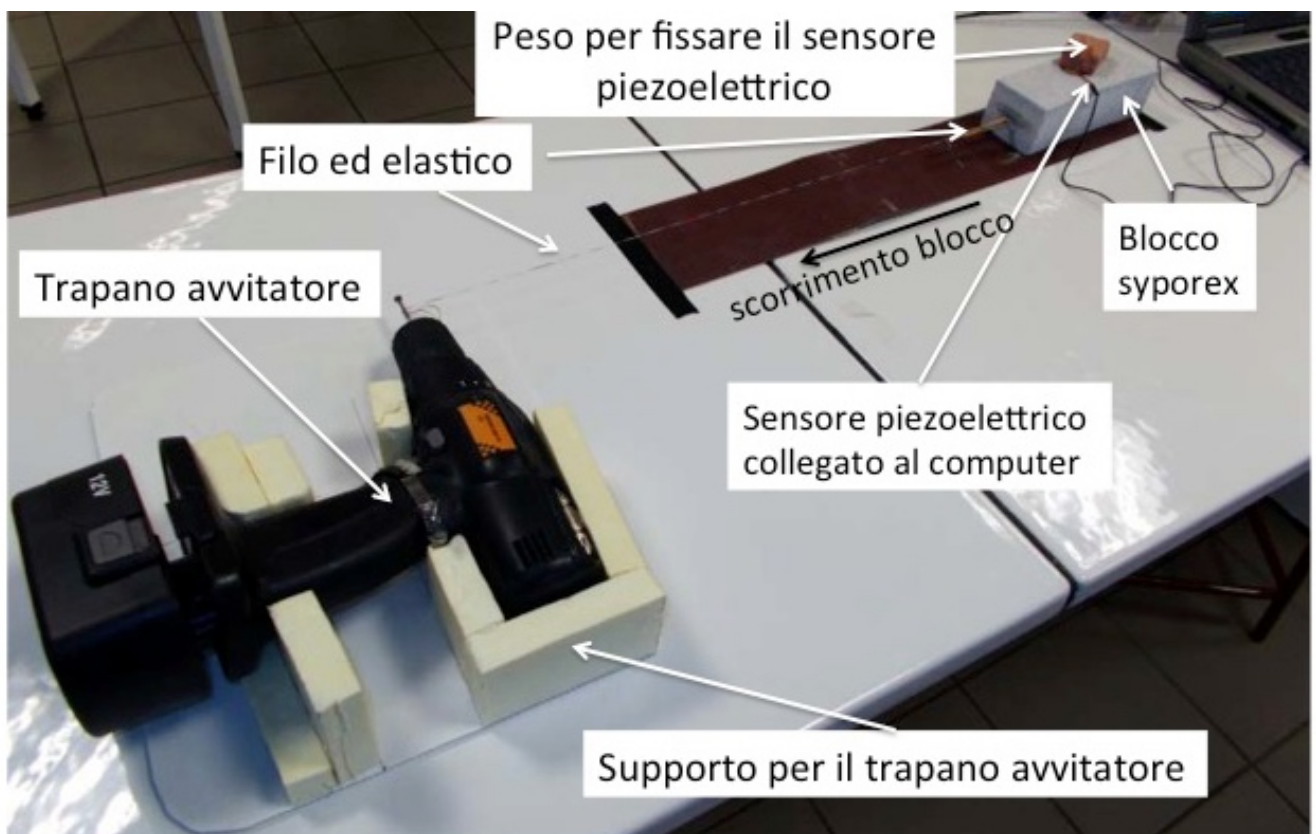
- illustrare i principi fondamentali della dinamica stick-slip;
- verificare sperimentalmente se esiste una proporzionalità tra l’energia immagazzinata dalla molla (elastico) durante il suo allungamento e l’energia liberata dal blocco durante la fase di scivolamento che simula il sisma;
- verificare la proporzionalità tra il tempo intersismico e l’energia rilasciata dal terremoto e identificare se la sequenza degli eventi è caratterizzata da periodicità.

Sulla base dei risultati ottenuti sarà possibile, quindi, verificare **se sia possibile prevedere i terremoti**.

#### Cosa prendiamo dalla scatola?

Del Kit si deve utilizzare (Fig. 14):

- il trapano avvitatore a batteria (con il suo apposito supporto);
- il rotolo di carta vetrata;
- un blocco syporex;
- il trasduttore di segnale piezoelettrico;
- la scheda audio esterna;
- chiodo 8 cm;
- filo ed elastico (nel kit sono già assemblati insieme). L'elastico è l'equivalente della molla.



*Fig. 14 – Configurazione dell'esperimento stick-slip.*

#### Esperimento

L'esperienza consiste nella registrazione dei dati relativi all'energia accumulata nell'elastico (molla) e all'energia liberata dal sisma.

Prima di avviare l'esperimento verificare che:



- il sensore piezoelettrico sia fissato sul blocco che deve scorrere (se ne mette uno solo, anche se nel [video](#) allegato l'operatore ne mette due);
- il computer portatile abbia il cavo elettrico scollegato (per vie di correnti parassite che possono interferire con la registrazione).

Dal menu a tendina Sismo Logic cliccare su 'Audacity for stick-slip (1ch, 16bits; 1000Hz) Local. Si ricorda che il tempo sperimentale non dovrebbe eccedere i 30 secondi per non saturare il numero di dati acquisibili e gestibili.

Si mette in moto il trapano avvitatore in modo tale che il sistema filo-elastico (in linea con il blocco) inizi a tendersi. Superata una soglia di attrito statico, il blocco si muoverà con uno scatto (attrito dinamico) per poi fermarsi nuovamente, tornando allo stato di quiete. Continuando a tendere il sistema filo elastico ricomincia un nuovo ciclo. Il risultato finale dell'acquisizione *stick-slip* è riportato in Fig. 15.

A fine registrazione, si esporta il file andando su File/Esporta. Dopo aver attribuito il nome al file .wav (Fig. 16a,b) il programma chiede all'utente di verificare alcune informazioni prima dell'esportazione (vedi dettaglio in Fig. 16c) il programma SISMO-LOGIC automaticamente legge il file e visualizza i risultati (Fig. 17)

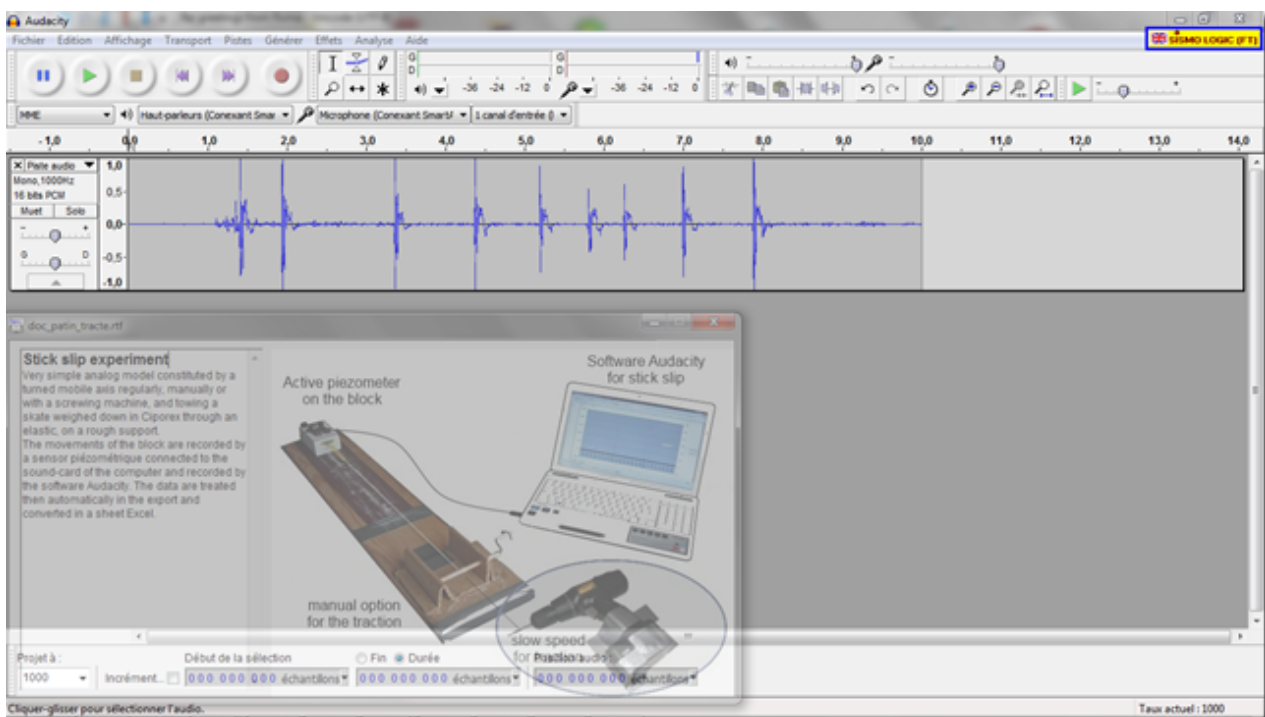


Fig. 15 – Risultato finale dell'acquisizione Quando il blocco scorre, il sensore piezoelettrico registra l'accelerazione verticale.



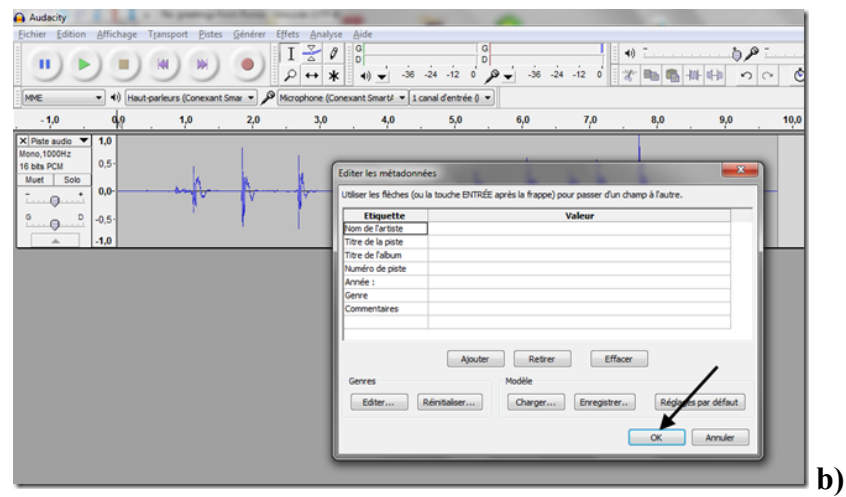
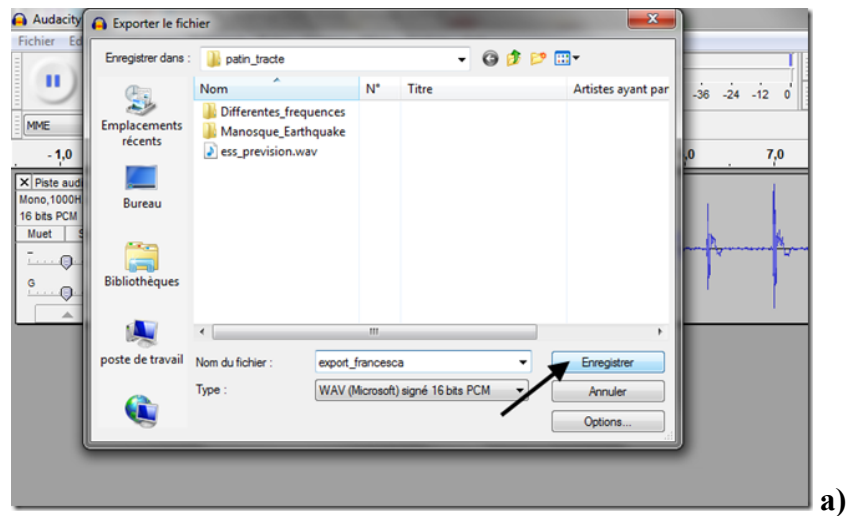


Fig. 16 – File che deve essere esportato in formato .wav (a,b). Il programma chiede di verificare che le linee rosse (che indicano l'inizio di ogni scorrimento) siano sistemate in modo corretto (il programma le genera automaticamente, c). È possibile modificare manualmente la posizione delle linee o aggiungerne altre cliccando col destro e selezionando 'add a mark'. Dopo la verifica cliccare su OK.

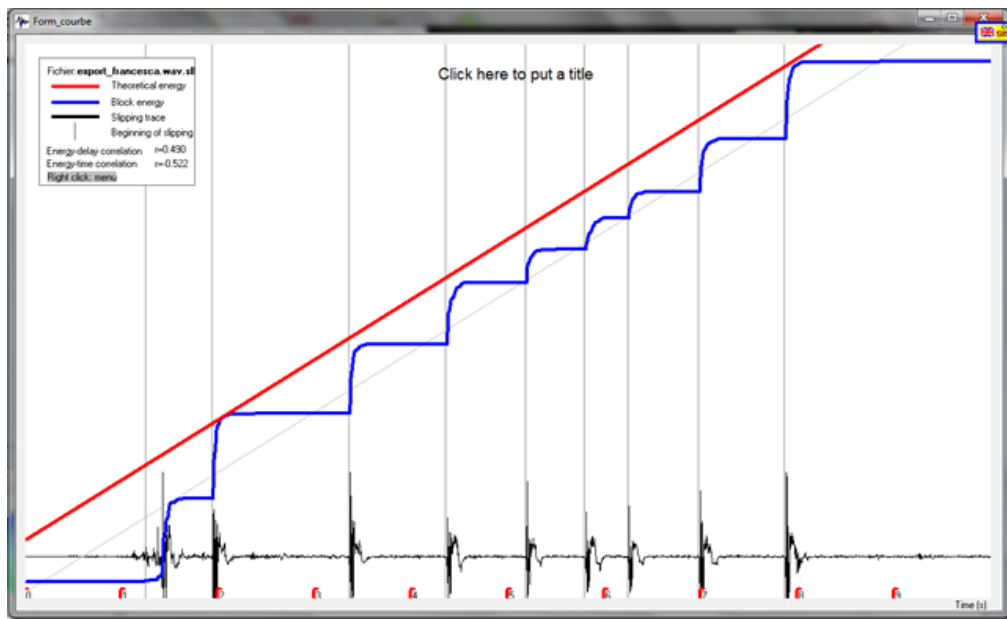


Fig. 17 – Visualizzazione dei risultati.

Il grafico permette di visualizzare il *trend* della curva azzurra (*block energy*). Questa curva descrive le fasi di accumulo di energia (fase '*stick*') e le fasi di liberazione rapida di energia (fase '*slip*', cioè il terremoto). L'energia liberata durante ognuno degli eventi si calcola come quadrato dello slip registrato durante due eventi (proporzionale all'energia cinetica  $\frac{1}{2} m v^2$ ). È possibile osservare come la curva azzurra sia lontana dalla curva rossa di equilibrio (energia teorica).

Se si clicca con il destro sulla figura appare un nuovo menu (Fig. 18) dal quale si può selezionare 'See the correlations' per mettere a confronto le grandezze registrate.

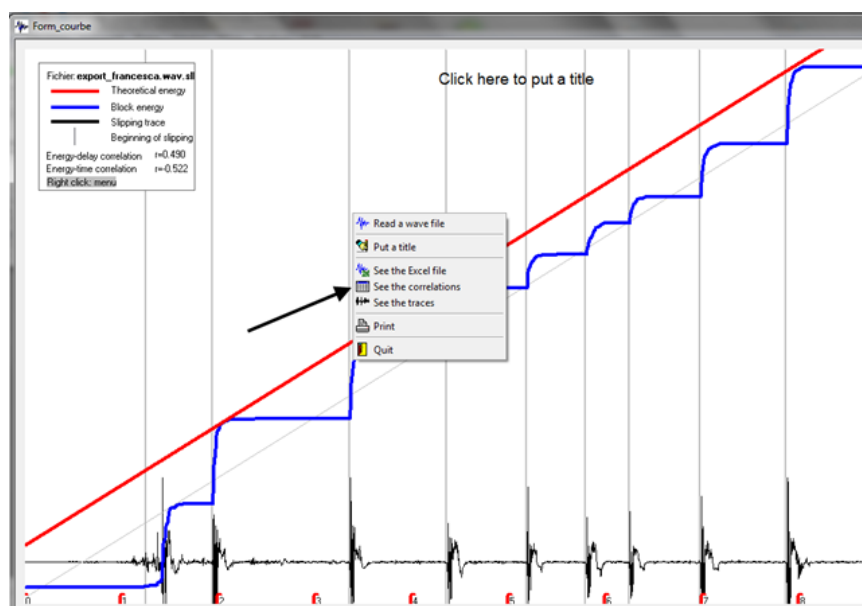


Fig. 18 – Comando per visualizzare le correlazioni tra parametri.

Dalla Figura 19 si può visualizzare la correlazione tra ritardo tra due e l'energia accumulata tra due scorrimenti. La correlazione è molto bassa, e questo significa che non c'è correlazione tra intensità dello scorrimento e il tempo trascorso tra due scorrimenti successivi. A volte può succedere che il ritardo tra due terremoti sia grande ma il terremoto è di bassa energia. Oppure, può succedere il contrario, cioè anche se il ritardo tra due eventi è piccolo, il terremoto è di grande entità. Questo significa che non è possibile fare previsioni né su quando un terremoto avverrà né su quanto sarà energetico!

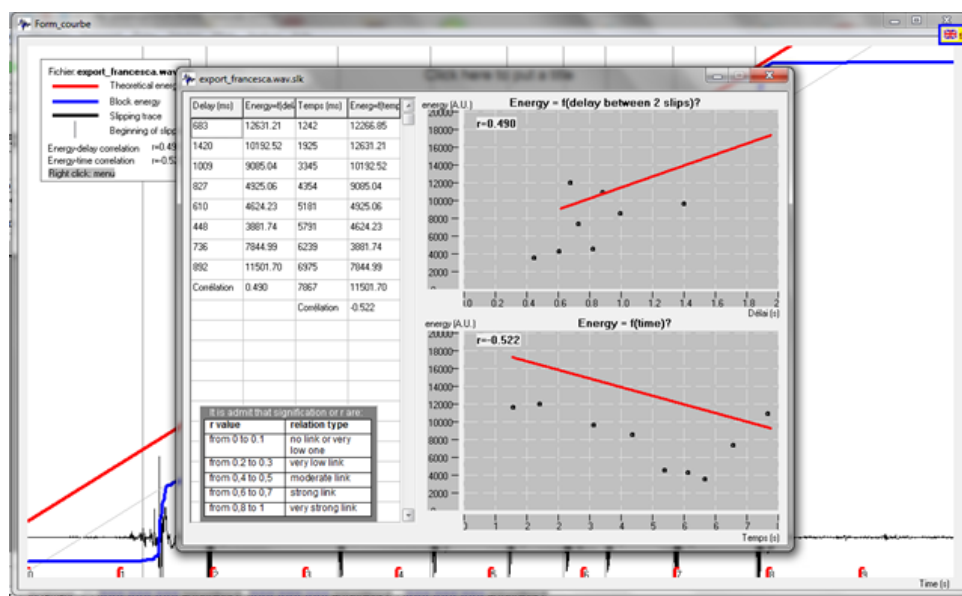


Fig. 19 – Correlazione (indicata dalla pendenza della linea di regressione) tra l'energia accumulata tra due scorrimenti

Per gli esperti di Excel, i risultati possono essere visualizzati con questo programma scegliendo nel menu che appare sul diagramma di Fig. 18 'See the Excel file'.

### Note

I parametri liberi del problema possono facilmente essere variati aggiungendo pesi sul blocco di Syporex per cambiarne la massa, utilizzando diverse molle al posto dell'elastico, ricoprendo la superficie di contatto del blocco con un materiale diverso per cambiare i valori dei coefficienti d'attrito, cambiando la velocità di avvitamento del trapano.

Un'aggiunta a questa esperienza, per coinvolgere la classe, è di utilizzare l'altro sensore piezoelettrico e di chiedere a uno studente durante la corsa dell'esperimento di batterci sopra quando pensa che il blocco stia per muoversi. Molto probabilmente non ci sarà corrispondenza tra lo scorrimento del blocco e il colpo dello studente! (Fig. 20).

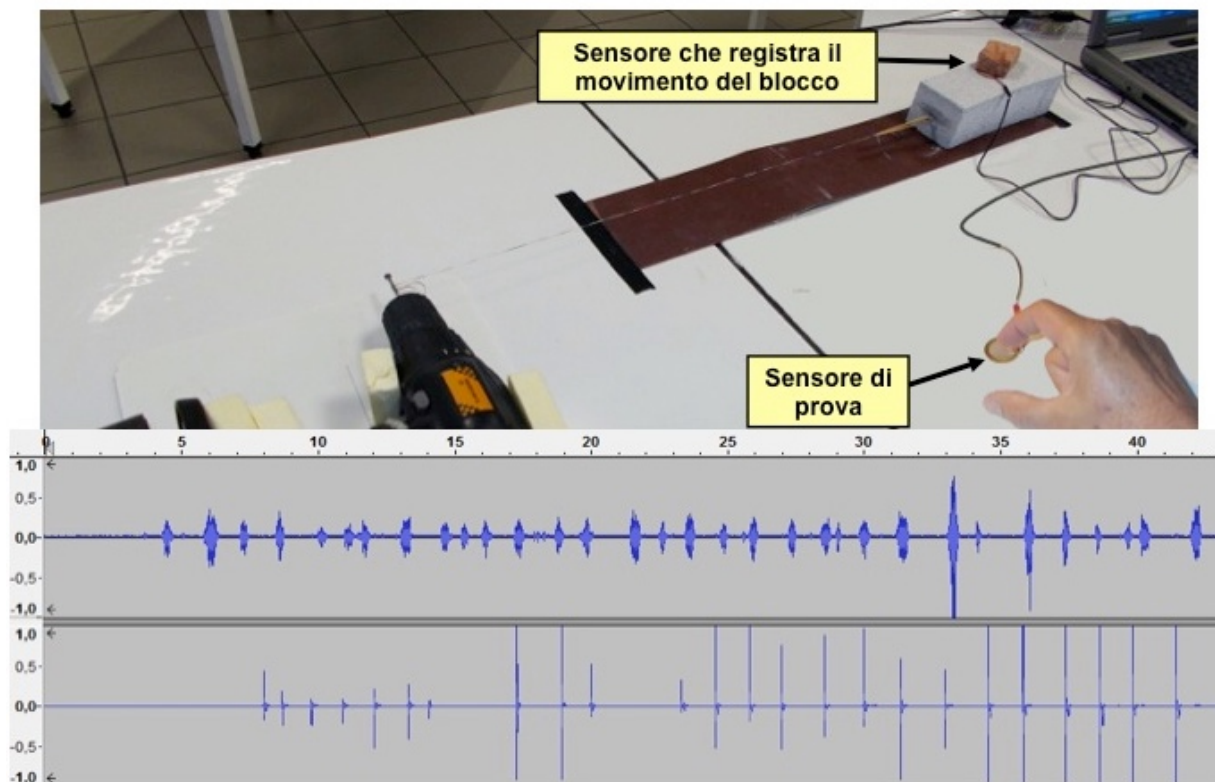


Fig. 20 – Provate a prevedere un terremoto! Ricordatevi di cambiare la registrazione da un canale a due canali.

## 1D. ‘Ascoltiamo’ un terremoto reale

### Principi di base

Quando si genera un terremoto, l’energia liberata si propaga sotto forma di onde. I differenti tipi di onde prodotte da un terremoto si propagano con velocità differenti e seguendo percorsi di diversa lunghezza. Dalla lettura di un sismogramma si possono così distinguere i diversi tipi di onde.

### Obiettivo dell’esperienza

L’obiettivo dell’esperienza è quello di visualizzare l’arrivo delle onde sismiche utilizzando la registrazione di un terremoto reale. Un sistema di amplificazione e trasmissione permette di ‘trasformare’ la lettura del sismogramma in scuotimento reale della tavola vibrante, riproducendo così quello che succede al passaggio delle onde sismiche nel terreno.

Cosa prendiamo dalla scatola?

Dal Kit è necessario prendere (Fig. 21):

- 1) coppia di altoparlanti
- 2) supporti altoparlanti
- 3) elemento che serve ad unire i due supporti altoparlanti
- 4) elementi di trasmissione tra altoparlanti e shaking table
- 5) base in policarbonato alveolare dei supporti altoparlanti
- 6) base in polistirene semplice della *shaking table*
- 7) tappi di plastica e biglie
- 8) base in polistirene con due ganci per gli altoparlanti
- 9) staffe a L per tenere salde le casse
- 10) viti per fissare la *shaking table*
- 11) amplificatore
- 12) fili casse
- 13) scheda audio esterna con cavo per collegamento
- 14) cavo collegamento amplificatore-scheda audio esterna

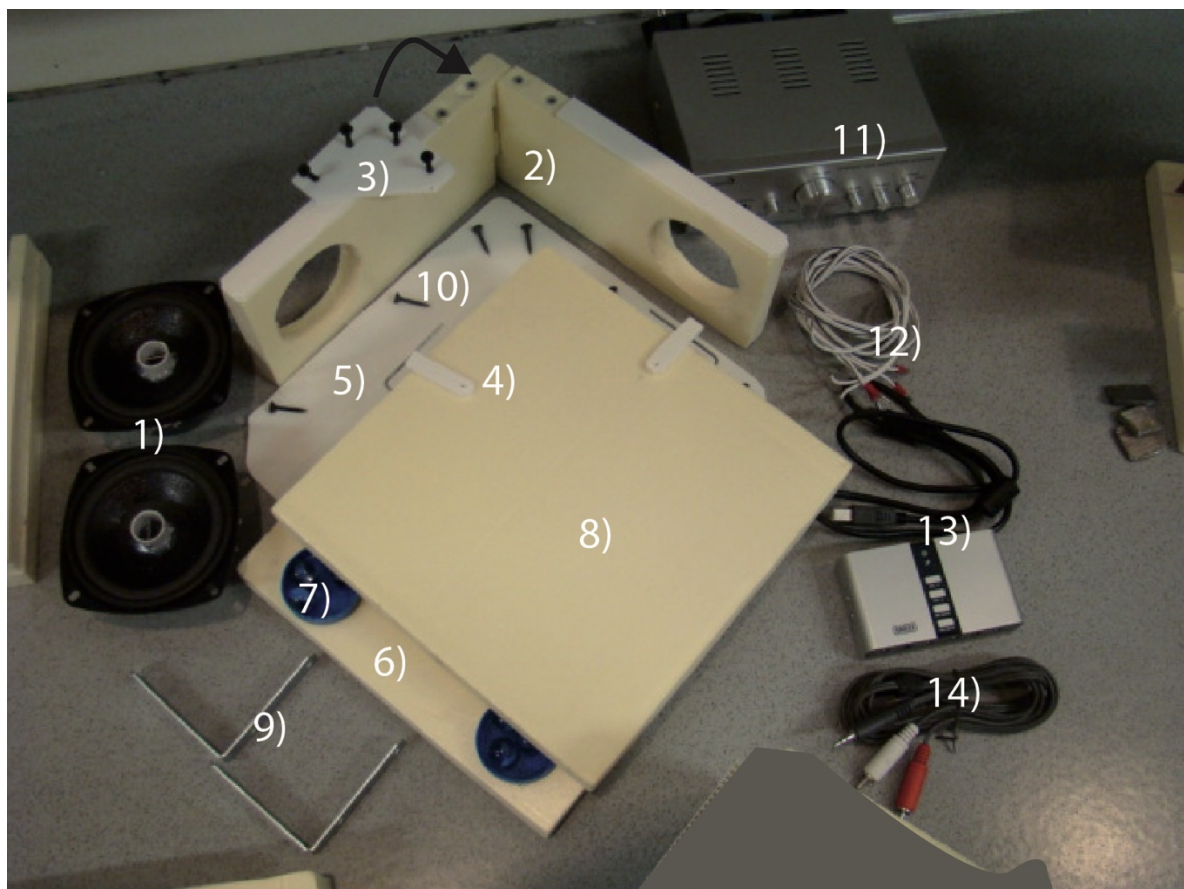


Fig. 21 – Materiale necessario per la tavola vibrante (*shaking table*) elettronica



### Esperimento

Dopo aver montato le diverse parti del Kit e aver allestito la tavola vibrante (Fig. 22), aprire dal menu tendina sismo-logic ‘*Audacity for shake-table 1D-2D (Manosque Earthquake)*’. Si aprirà un file in Audacity che contiene la traccia di un terremoto reale nella quale sono presenti diversi tipi di onde (Fig. 22h). Prima di premere il tasto ‘riproduci’ (play) assicurarsi che il volume della scheda audio esterna, dell’amplificatore e del computer siano al massimo. Inoltre assicurarsi che nell’amplificatore i bassi siano al massimo e che il bottone di destra sia impostato su *tape*

Cliccando su play inizierà la riproduzione della traccia del terremoto che sarà percepibile sulla tavola vibrante grazie al sistema di amplificazione. Si apprezzerà prima il passaggio delle onde P e successivamente quello delle onde S.

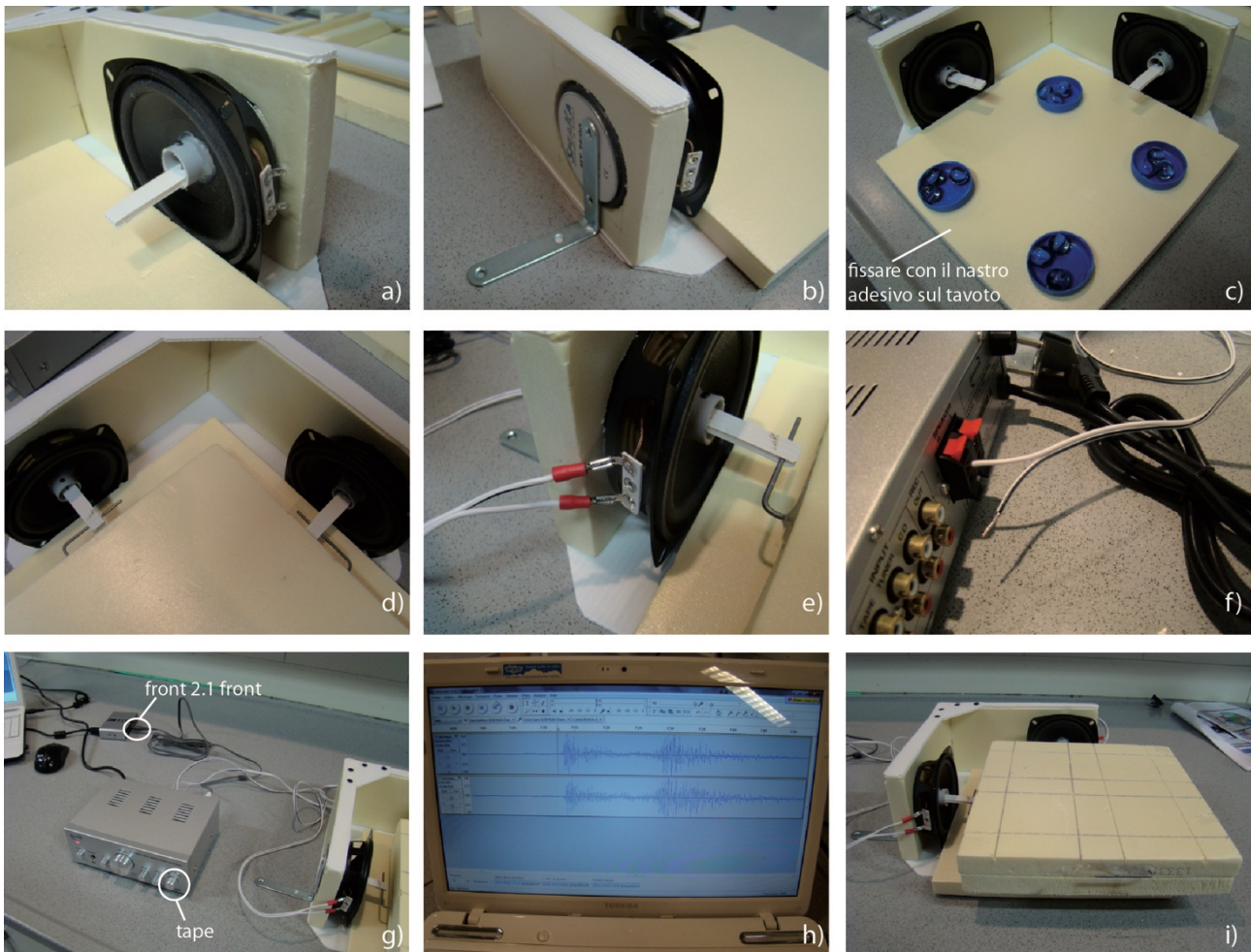


Fig. 22 – Configurazione della shaking table. Nel riquadro i) è riportata la configurazione per osservare gli effetti di risonanza sugli edifici (esperimento descritto più avanti), dove c’è l’aggiunta del supporto dove si fissano gli edifici (ripiano al top inciso da solchi).

## 2. EFFETTI DEL TERREMOTO SUGLI EDIFICI

### Principi Base

La risposta dinamica di un edificio quando viene sollecitato dallo scuotimento del suolo (*ground motion*) generato un terremoto è uno dei fattori più importanti che controlla i danni che gli edifici subiscono durante il verificarsi di un terremoto.

Quando si genera un terremoto, il movimento lungo il piano di faglia rilascia una grande quantità di energia che viaggia attraverso la Terra sotto forma di onde sismiche (Fig. 23). Queste onde possono viaggiare per lunghe distanze prima di dissipare tutta la loro energia. Quando le onde raggiungono la superficie terrestre, producono lo scuotimento del suolo che attraversano. Se lo scuotimento avviene in aree edificate (e se lo scuotimento è forte abbastanza), questo si trasferirà agli edifici, partendo dalle fondazioni e propagandosi in modo complesso e producendo, sotto particolari condizioni, danni agli stessi.

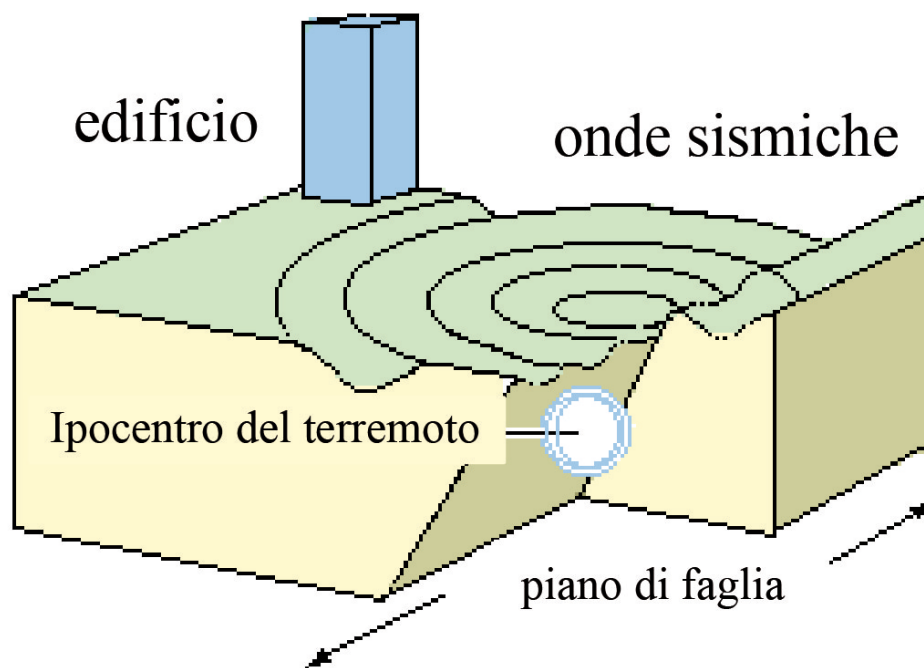


Fig. 23. Un esempio di come si genera un terremoto.

Durante un terremoto, lo scuotimento del suolo al di sotto di un edificio avviene in modo complesso. Questa complessità è dovuta principalmente al fatto che le onde (che già si originano non uniformi nella zona di faglia), prima di arrivare dall'ipocentro all'edificio attraversano rocce e terreni con caratteristiche diverse che le modificano. Inoltre, una volta che le onde raggiungono l'edificio, esse subiscono ulteriori modifiche in relazione alle caratteristiche dei terreni di fondazione al di sotto dell'edificio.

Le caratteristiche dello scuotimento del terreno che hanno maggiore rilevanza per gli edifici sono la durata, l'ampiezza (di spostamento, velocità e accelerazione), la direzione di vibrazione, e la **frequenza** dello scuotimento. In particolare, la frequenza è definita come numero di cicli completi di vibrazione compiuti dall'onda in un secondo, quindi un'intera lunghezza d'onda (Fig. 24). La frequenza è spesso misurata in Hertz (Hz): se due onde complete passano in un secondo, la frequenza è 2 Hz.

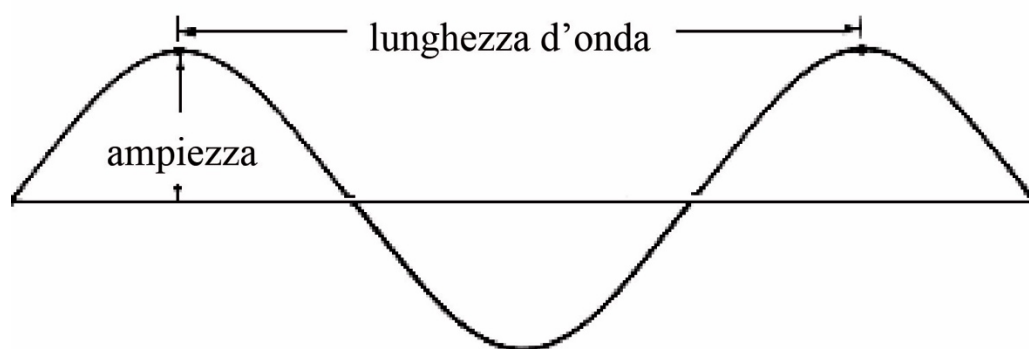


Fig. 24. Forma semplificata di un'onda (sismica).

La risposta degli edifici allo scuotimento del terreno è complessa quanto lo scuotimento stesso. L'edificio inizia a vibrare, con una distribuzione di frequenze propria. Tuttavia, le vibrazioni dell'edificio tendono a distribuirsi intorno a una frequenza specifica, nota come frequenza naturale o frequenza fondamentale. Generalmente più basso è l'edificio è più alta è la sua frequenza naturale, e più alto è un edificio e più bassa è la sua frequenza naturale. Spesso si parla anche di periodo naturale dell'edificio, che non è altro che l'inverso della frequenza. Mentre quindi la frequenza è il numero di volte per secondo che un edificio vibra avanti e indietro, il periodo è il tempo necessario per l'edificio a compiere una vibrazione completa. Quando si parla di periodo, dunque, più alto è un edificio e più alto è il suo periodo e viceversa. Esiste una regola empirica che stima il periodo di oscillazione degli edifici ( $T$ ) in relazione al numero di piani ( $n$ ) dell'edificio:

$$T = 0.1 n$$

Questa relazione implica che più sono i piani che costituiscono un edificio e più lungo è il suo periodo di oscillazione. Per esempio, un edificio di 10 piani avrà un periodo di oscillazione di 1 secondo, mentre un edificio di 5 piani avrà un periodo proprio di oscillazione di 0.5 secondi.

(per approfondimenti sugli effetti dei terremoti sugli edifici, si consiglia di consultare i siti <http://mceer.buffalo.edu/infoservice/Education/educationOutreach.asp>; <http://www.iris.edu/hq>).



## 2A. La risonanza degli edifici

### Principi Base

Ogni edificio, come ogni struttura, è caratterizzato da una frequenza specifica di oscillazione  $f$  (o da un periodo di oscillazione  $T$ ) che dipende dalla sua forma e dalle sue dimensioni, in particolare dalla sua altezza  $L$ . Quando la distribuzione di frequenze (o periodi) dell'onda che genera lo scuotimento è centrata sulla frequenza (periodo) naturale dell'edificio, avviene il fenomeno della risonanza e gli edifici cominciano a oscillare, anche con gravi conseguenze per la loro stabilità.

Un esempio impressionante di questo fenomeno è quanto avvenuto a Città del Messico in occasione del terremoto del 19 settembre 1985. Nonostante l'epicentro del terremoto fosse a centinaia di km dalla città, questa subì danni enormi. In particolare la maggior parte degli edifici che collassarono durante questo terremoto furono gli edifici con un numero di piani da 5 a 15. Edifici più alti (o più bassi) e con caratteristiche di frequenza differenti non furono distrutti, anche se ubicati vicino agli edifici distrutti. Gli edifici collassarono perché entrarono in risonanza con la distribuzione di frequenze propria del terremoto (che a quella distanza dall'ipocentro era centrata sulle basse frequenze) ed è per questo che furono distrutti.

Per spiegare la risonanza, pensiamo che quando avviene un terremoto, nel terreno si propaga un'onda descrivibile con un andamento sinusoidale. Nel momento in cui l'onda attraversa l'edificio, essendo questo ancorato al terreno attraverso le sue fondazioni ed essendo di dimensioni finite, non potendo l'onda propagarsi, aumenta in ampiezza inducendo un'oscillazione nell'edificio (Fig. 25).

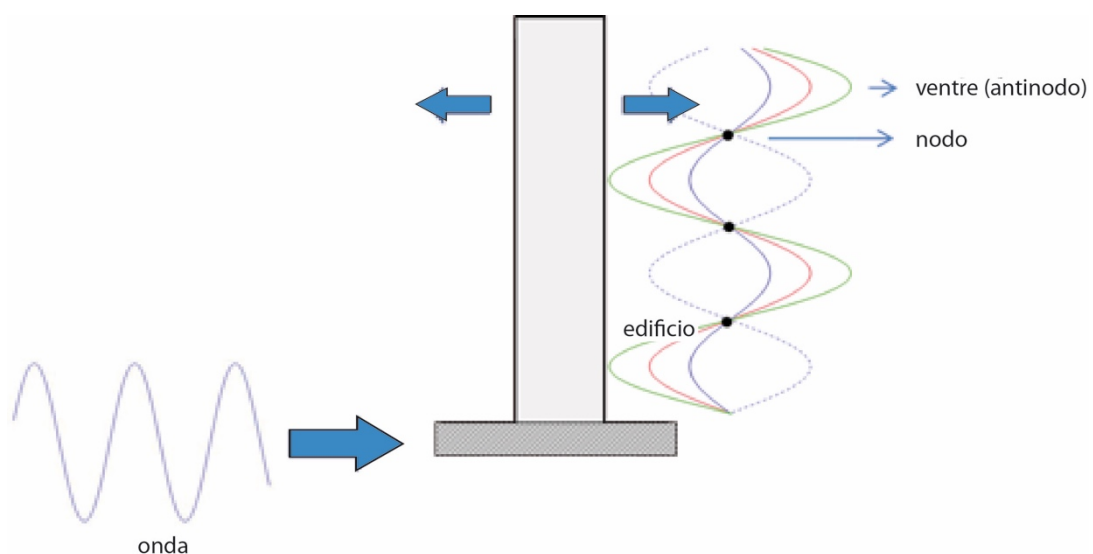


Fig. 25. Onda stazionaria e risonanza

Si genera un'onda stazionaria (*standing wave*), un'onda che non si propaga nello spazio, ma rimane localizzata, nel nostro caso nell'edificio. In particolare si osservano dei punti che non oscillano mai al variare del tempo, detti *nodi*, e da punti in cui l'oscillazione è sempre massima, detti *antinodi* (*ventri*) (Fig. 25).

La frequenza di risonanza, e quindi il modo con cui un edificio può oscillare, dipende dalla sua altezza  $L$ . In particolare il fenomeno dell'oscillazione avviene se la lunghezza d'onda della perturbazione approssima la lunghezza dell'edificio. Vista la relazione inversa tra lunghezza d'onda e frequenza se ne deduce che:

- alte frequenze, e quindi basse lunghezze d'onda, sono potenzialmente dannose per edifici bassi;
- basse frequenze, e quindi grandi lunghezze d'onda, sono potenzialmente dannose per edifici più alti.

### Obiettivi dell'esperienza

Visualizzare il fenomeno della risonanza degli edifici associando la variazione di frequenza con la differente risposta sismica di edifici di altezza differente.

### Cosa prendiamo dalla scatola?

Dal Kit è necessario prendere (i numeri sono riferiti alla Figura 26):

- 1) Trapano avvitatore
- 2) Supporto per trapano avvitatore
- 3) Asticella per la trasmissione
- 4) Eccentrico
- 5) Supporto tavola vibrante con aste di legno (x 2)
- 6) Base in polistirene per fissare gli edifici
- 7) Edifici di 3 altezze differenti
- 8) Gommini che necessari per bloccare il movimento dell'eccentrico (ampiezza dello scuotimento).

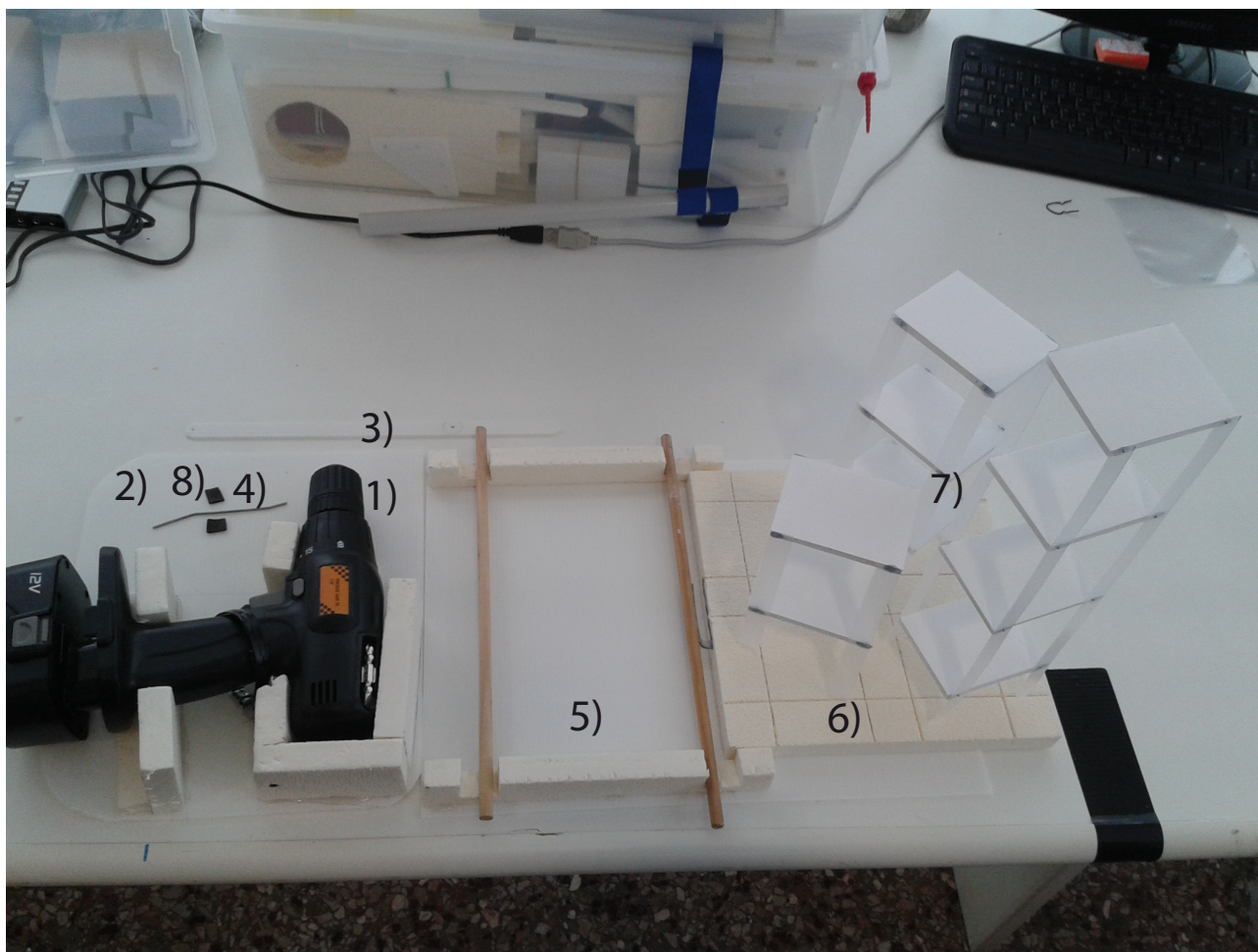


Fig. 26. Materiale necessario per l'esperimento sulla risonanza degli edifici

### Esperimento

Prima d'iniziare l'esperimento, è necessario verificare che le diverse componenti del Kit siano disposte in modo appropriato (Fig. 27). In particolare:

- il supporto del trapano deve essere fissato al tavolo con del nastro adesivo;
- assicurarsi che l'asta di trasmissione sia ben fissata all'eccentrico in modo tale da non cambiare l'ampiezza dello scuotimento (questo si fa con i gommini in dotazione, vedi Fig. 27); l'ampiezza dello scuotimento può essere cambiata muovendo la trasmissione lungo l'eccentrico (più vicino o più lontano dal trapano avvitatore);
- la batteria del trapano avvitatore non sia completamente inserita al trapano in modo tale da poterlo accendere e spegnere giocando con il movimento della batteria (vedi Fig. 27);
- la tavola vibrante deve essere posizionata nella posizione migliore (funzione dell'asta di trasmissione tra trapano e tavola vibrante), e va fissata al tavolo con del nastro adesivo;
- per fissare meglio gli edifici sulla tavola vibrante si può mettere un po' di nastro adesivo sulle 'fondazioni' (vedi dettaglio in Figura 27).

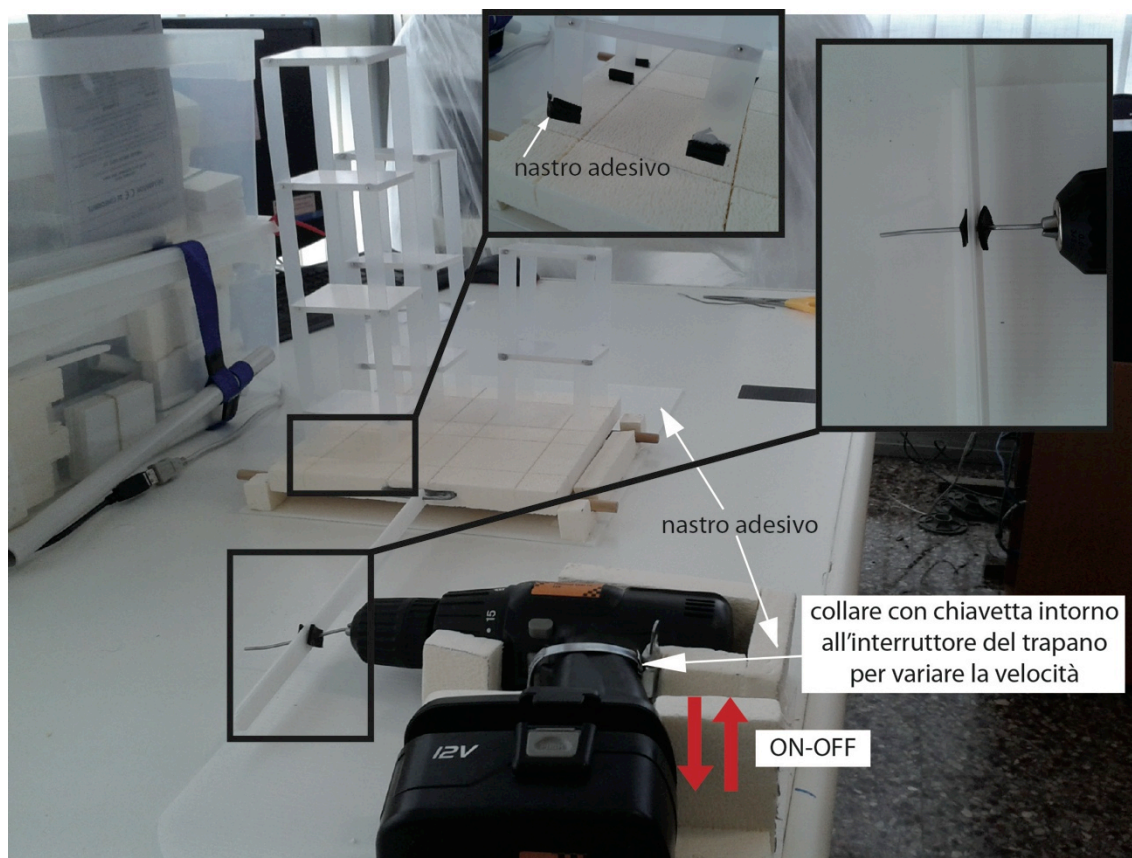


Fig. 27. Configurazione corretta per l'esperimento sulla risonanza degli edifici

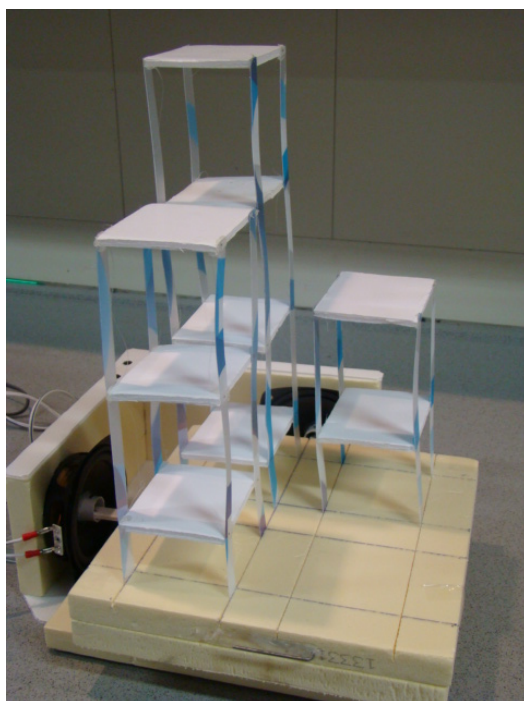
Si procede quindi alla prova sperimentale che consiste nell'azionare il trapano avvitatore a differenti velocità (crescenti o decrescenti) e osservare qual è il comportamento dei singoli edifici. La variazione di velocità corrisponde alla variazione della frequenza dello scuotimento. Durante l'esperimento sarà possibile osservare come l'edificio alto (a 4 piani) alti vibri maggiormente a basse velocità (basse frequenze), l'edificio intermedio (a 3 piani) maggiormente a velocità intermedie (medie frequenze) mentre l'edificio più basso (a 2 piani) maggiormente ad alte velocità (alte frequenze). Cercate i nodi e i ventri (antinodi) nei diversi edifici durante l'esperimento! Per vedere il video dell'esperienza clicca [qui](#).

### Note

Lo stesso esperimento può essere realizzato con la tavola vibrante elettronica utilizzando la traccia di un terremoto reale, come visto nell'esperimento a pag. 22 ('Ascoltiamo un terremoto reale'). La configurazione dell'esperimento è la stessa, in più si aggiunge, fissandolo con nastro adesivo, la base per fissare gli edifici (Fig. 22i e Fig. 28).

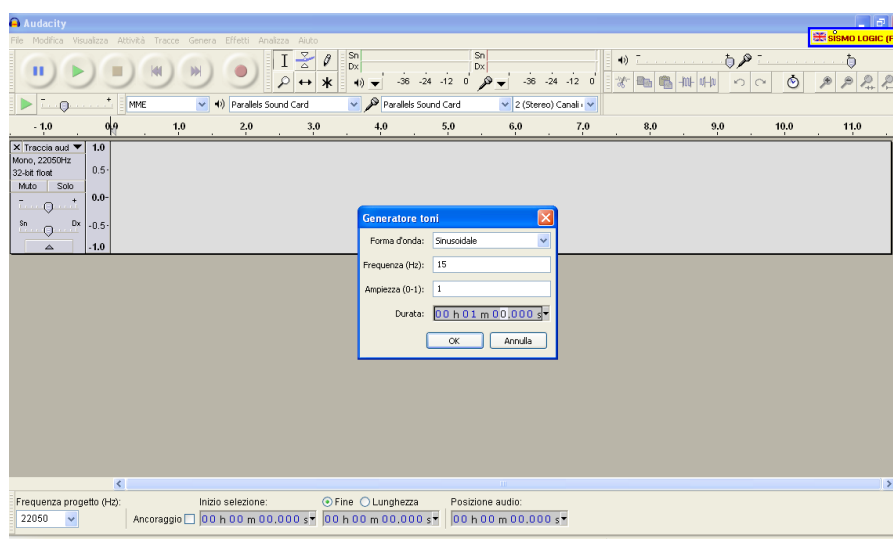
Se riproduciamo la traccia del terremoto reale come fatto nell'esperimento 'Ascoltiamo il terremoto' utilizzando il software '*Audacity for shake-table 1D-2D (Monosque Earthquake)*' è possibile osservare come tutti gli edifici vibrino.





*Fig. 28. La risonanza degli edifici utilizzando la tavola vibrante (shaking table) e la traccia di un terremoto reale.*

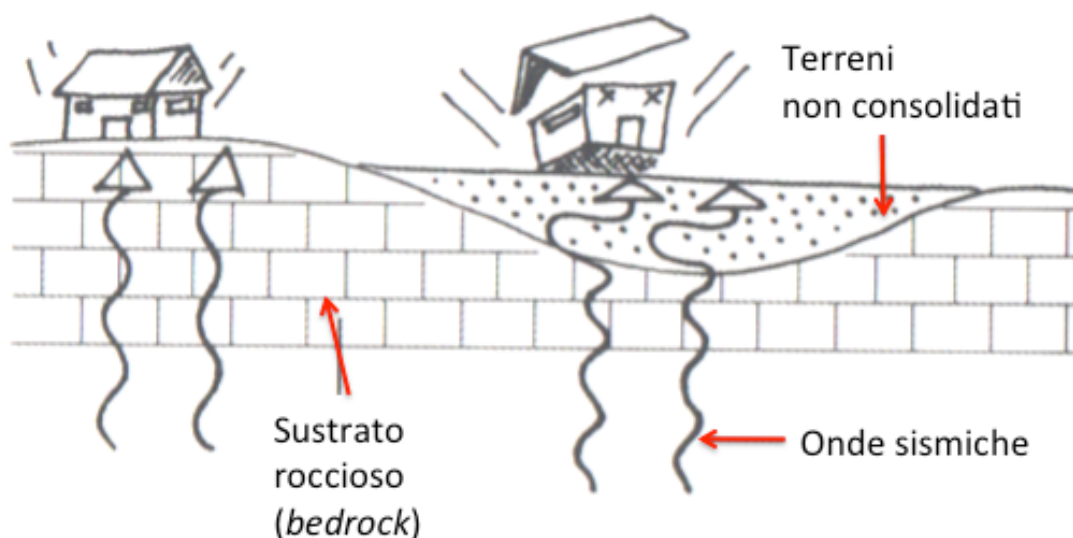
Questo succede perché durante un terremoto reale sono presenti tutte le frequenze. Alcune di queste frequenze vengono tuttavia amplificate di più in relazione alla tipologia di edificio. Utilizzando invece il software ‘Audacity for speed wave (2 ch, 22KHz) Local’ è possibile variare la frequenza da trasmettere agli edifici in base alla frequenza propria di risonanza degli edifici, e quindi aumentare le oscillazioni degli stessi. Per variare la frequenza vai sul menu ‘Genera’, poi su ‘Tono’ e da lì si può cambiare la frequenza, l’ampiezza e la durata del segnale. Si lavora solo con una cassa (destra o sinistra) (Fig. 29).



*Fig. 29. Come cambiare le caratteristiche del segnale trasmesso alla tavola vibrante.*

## 2B. L'effetto di sito

Le onde sismiche che si propagano durante un terremoto viaggiano a una certa velocità. Quando, durante il loro percorso passano da rocce più dure (*bedrock*) a depositi non consolidati (come per esempio i depositi alluvionali di un fiume) succede che per conservare l'energia trasmessa queste onde diminuiscano bruscamente la velocità ma al tempo stesso aumentino fortemente l'ampiezza delle loro oscillazioni. Si parla di **effetto di sito**, che rappresenta uno dei fattori di rischio più temibili in aree caratterizzate da questo tipo di depositi. L'esempio del terremoto che colpì Città del Messico nel 1985 riportato nell'esperimento 2A, oltre ad essere molto didattico per spiegare la risonanza degli edifici, descrive molto bene anche il fenomeno dell'effetto di sito (collegato sempre al concetto di risonanza quando si parla di edifici). Questa città, infatti, si trova a centinaia di km dall'epicentro del terremoto che colpì il Messico centrale nel 1985. Nonostante questa notevole distanza, crollarono circa 800 palazzi. Studi geologici evidenziarono che buona parte di Città del Messico è costruita su di un bacino fatto di depositi poco consolidati (depositi di un antico lago). Quando le onde arrivarono in corrispondenza di questi depositi, diminuirono bruscamente la loro velocità perché passarono da rocce rigide a sedimenti poco consolidati, aumentando di ampiezza e causando un forte scuotimento del terreno attraversato. Inoltre, la frequenza di oscillazione di questi terreni poco consolidati era molto simile a quella dei palazzi di 10 piani che risultarono essere i più danneggiati dal terremoto. Questo successe perché la frequenza di risonanza del terreno e quella dell'edificio che si trova su di esso erano uguali. Venne quindi indotta un'oscillazione risonante accoppiata, detta amplificazione sismica, che accrebbe enormemente le sollecitazioni sull'edificio.



Da 'Ciaccio e Cultrera: Terremoto e rischio sismico (Ediesse Ed.) (ISBN: 978-88-230-1803-7).

Cosa prendiamo dalla scatola?

Dal Kit è necessario prendere (i numeri sono riferiti alla Figura 35):

1. Trapano avvitatore
2. Supporto per trapano avvitatore
3. Asticella per la trasmissione
4. Eccentrico
5. Gommini che necessari per bloccare il movimento dell'eccentrico
6. Supporto tavola vibrante con aste di legno (x 2)
7. Elemento che 'simula' la presenza di sedimenti poco consolidati (es. depositi alluvionali)
8. Base in polistirene per fissare gli edifici
9. Edifici di 3 altezze differenti

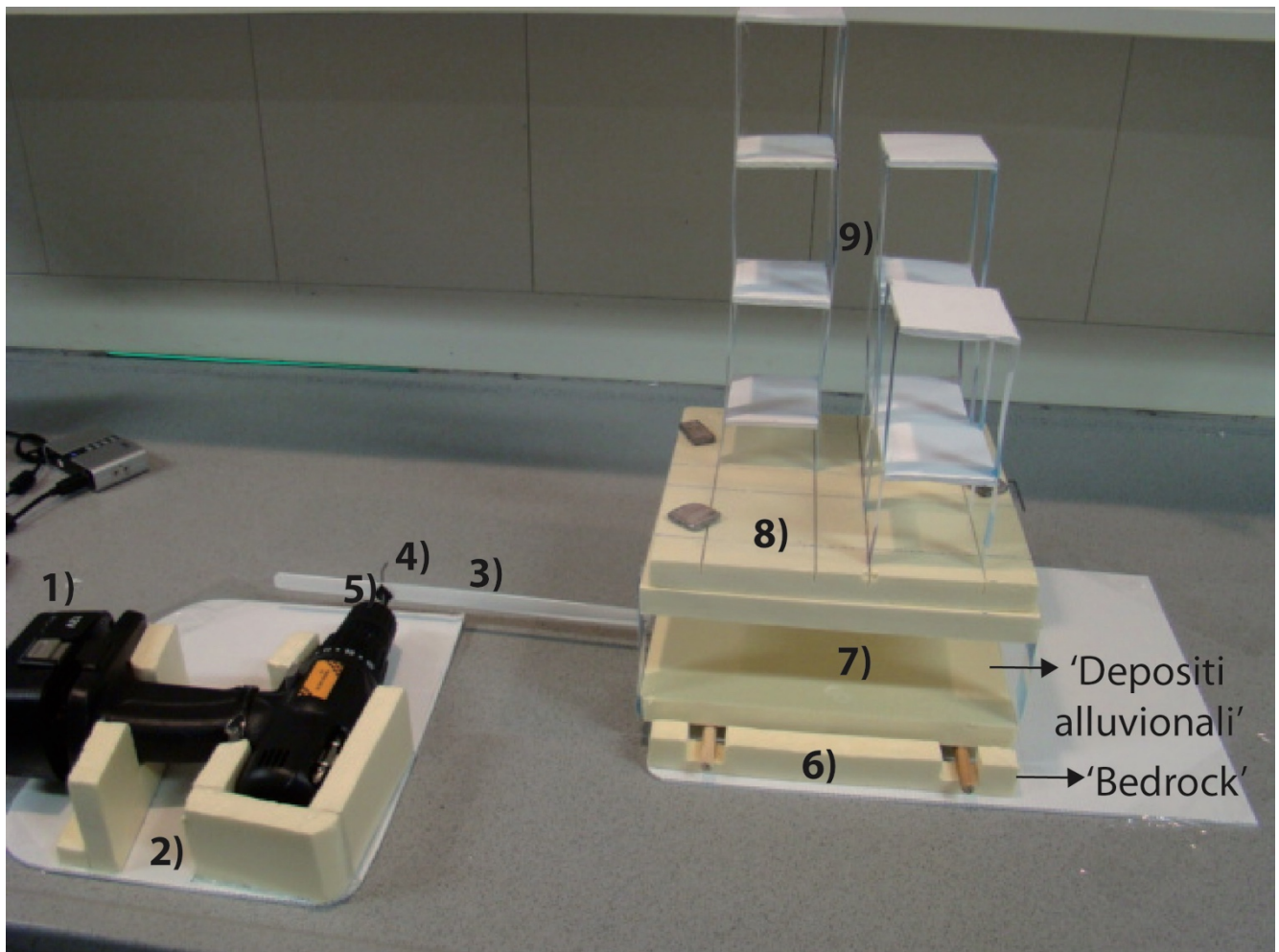


Fig. 35. Esperimento sugli effetti di sito.

### Esperimento

La procedura dell'esperimento è molto simile a quella dell'esperimento 2A. La differenza consiste nella configurazione in quanto in questo esperimento si aggiunge un elemento (depositi alluvionali) tra la tavola vibrante e base degli edifici (Fig. 35).

Si avvia il trapano avvitatore partendo dalla massima velocità (alte frequenze). La variazione di velocità corrisponde alla variazione della frequenza dello scuotimento. Durante l'esperimento sarà possibile osservare come, diminuendo la velocità (frequenza), prima oscilla l'edificio più basso (a 2 piani), poi quello intermedio (a 3 piani), e poi l'edificio alto (a 4 piani). Contemporaneamente all'oscillazione dell'edificio a 4 piani, inizia ad oscillare l'elemento 'depositi alluvionali', indicando che la frequenza risonanza del terreno è esattamente quella raggiunta con la velocità del trapano avvitatore. A questo punto le oscillazioni sono molto forti e tutti gli edifici sono destabilizzati, a causa del forte scuotimento del terreno che è in risonanza. Per vedere il video clicca [qui](#).

## **2C. Il fenomeno della liquefazione**

### Principi base

Il termine "liquefazione" identifica la perdita della resistenza in un terreno saturo d'acqua (generalmente sabbioso o sabbioso/limoso), monogranulare e non coesivo, a seguito di vibrazioni orizzontali del suolo prodotte da un terremoto.

La liquefazione è uno dei fenomeni più evidenti che possono essere innescati da un terremoto in zone i cui terreni sono costituiti da depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi (come ad esempio le pianure alluvionali o le aree costiere). In questi depositi, generalmente non consolidati e saturi di acqua (che è incompressibile), lo scuotimento legato al verificarsi di un terremoto può causare il passaggio del terreno dallo stato solido a quello liquido, con gravi conseguenze in caso di presenza di fabbricati al di sopra di esso. Ciò avviene solitamente quando, per l'effetto delle sollecitazioni di taglio indotte dalla propagazione delle onde sismiche, la pressione dell'acqua nei pori del terreno, detta pressione interstiziale, aumenta progressivamente fino ad uguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci a carico dello scheletro solido del materiale, dai quali dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero. I terreni suscettibili a liquefazione sono dunque quelli in cui la resistenza alla deformazione avviene solo per attrito tra le particelle, quindi i terreni incoerenti (sabbie e limi). L'acqua viene allontanata tra un granulo e l'altro e risale in superficie (Fig. 36).



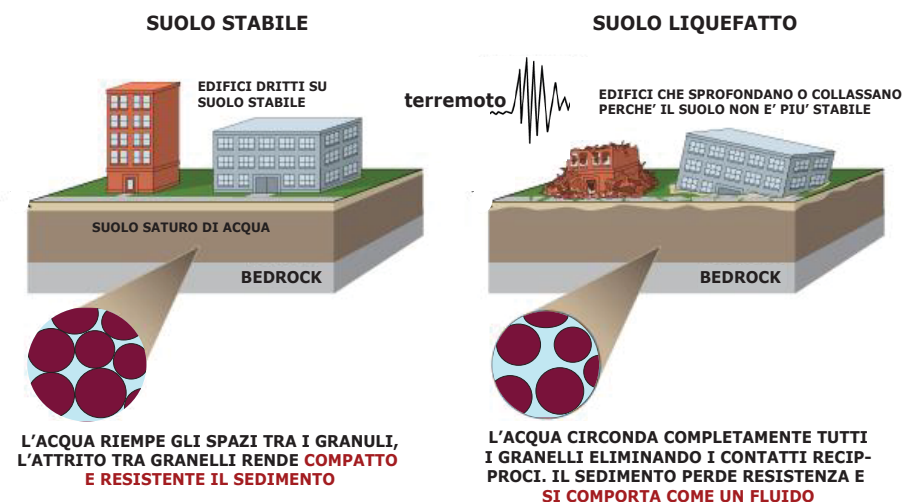


Fig. 36 Il fenomeno della liquefazione.

### Cosa prendiamo dalla scatola?

Del Kit si deve utilizzare (Fig. 37):

- 1) trapano avvitatore a batteria (con il suo apposito supporto)
- 2) eccentrico
- 3) asta di trasmissione del movimento
- 4) scatola per la sabbia
- 5) un blocco syporex
- 6) Supporto per la tavola vibrante
- 7) Base da utilizzare da poggiare sulla tavola vibrante che abbia il gancio per fissarsi a 3)
- 8) Bacchette della tavola vibrante

Nel Kit non è contenuta la sabbia (9), che deve essere preferibilmente monogranulare.

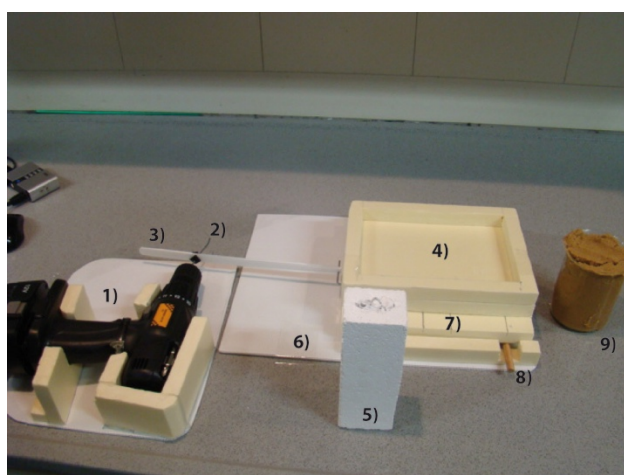


Fig. 37 Materiale necessario per l'esperimento sulla liquefazione.

### Esperimento

Si riempie la scatola con la sabbia completamente satura (l'acqua non deve fuoriuscire dalla sabbia ma al tempo stesso la sabbia deve essere completamente bagnata e satura).

Si dispone sopra la sabbia il blocco di syporex. Se si prova a spingere il blocco verticalmente si noterà che non sprofonda e che si mantiene stabile contro la spinta verticale. Se si avvia il trapano avvitatore con una velocità medio-bassa (Fig 38a) , la sollecitazione orizzontale prodotta nel terreno del terreno azzerava la resistenza al taglio. Il terreno non è più in grado di sorreggere il blocchetto (la casa) sovrastante che 'affonda'. Da notare l'acqua che è risalita in superficie dopo lo scuotimento del terreno (Fig. 38b). Per vedere il video clicca [qui](#).

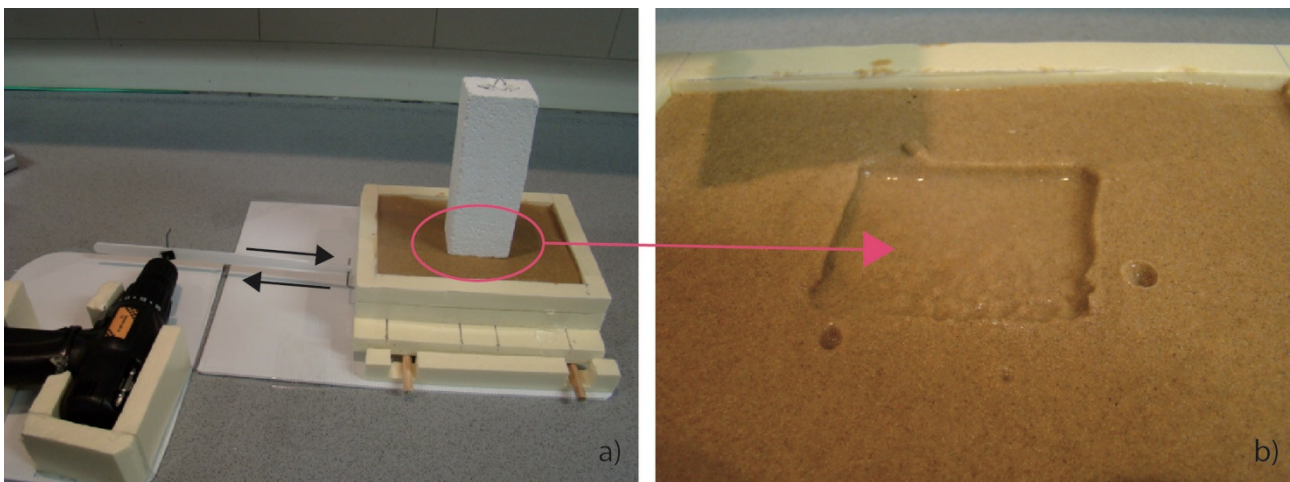


Fig. 38. Esperimento sulla liquefazione.

### Note

Il blocco in syporex in dotazione nel Kit può risultare troppo alto e collassare rapidamente se non si riesce a calibrare l'ampiezza delle oscillazioni con il trapano avvitatore. Si può sostituire con un qualsiasi oggetto più basso, l'importante è che sia a base piatta e di un peso appropriato.

Questa esperienza può essere effettuata anche manualmente senza ricorrere alla strumentazione del Kit Sismo-box. Sugeriamo di consultare il sito Fare Laboratorio (<http://ls-osa.uniroma3.it>) e consultare l'articolo SCI-288.

## 2D. La stabilità degli edifici

### Principi base

In una zona colpita da un terremoto, si osserva spesso come gli edifici, pure avendo subito lo stesso scuotimento, risultano danneggiati in modo diverso. Come abbiamo visto, ogni edificio risponde in modo diverso alle sollecitazioni sismiche, sia per la tipologia edilizia che per la natura del terreno sul quale è costruito. Questi elementi concorrono a definire la **vulnerabilità** sismica, con cui viene valutata la propensione degli edifici ad essere danneggiati in seguito al verificarsi di un evento sismico. Nella premessa è stata fornita la definizione di rischio sismico. In particolare, si è visto che tra i diversi parametri che contribuiscono alla stima del rischio sismico in un'area, mentre sulla pericolosità l'uomo non può intervenire perché legato alla configurazione geologica di un'area (e quindi alla forza della natura che genera terremoti), sulla vulnerabilità si può intervenire.

### Obiettivi degli esperimenti

Gli obiettivi degli esperimenti proposti sono principalmente due:

- 1) capire che, a parità di energia rilasciata da un evento sismico, le costruzioni costruite con criteri antisismici resistono meglio di costruzioni costruite in modo inadeguato
- 2) comprendere l'importanza delle caratteristiche geologiche dei terreni di fondazione nella stabilità degli edifici.

### 2D.1 Edifici costruiti in modo diverso

Questo esperimento può essere effettuato in due modi:

- utilizzando la tavola vibrante gestita con il trapano avvitatore (con la stessa configurazione dell'esperimento 2A)
- utilizzando la tavola vibrante elettronica (con la stessa configurazione riportata in Fig. 22i)

### Cosa prendiamo dalla scatola?

Dal Kit è necessario prendere (oltre al materiale necessario a seconda di come si vuole svolgere l'esperimento, vedi sopra) (Figure 30-31):

- 1) aste di polipropilene alveolare (4x2) per la costruzione degli edifici
- 2) piani di carton plume per (4x2) per la costruzione degli edifici
- 3) filo
- 4) chiodini con testa a pallina (o similari) (vedi Fig. 30 e 31)
- 5) edificio a 4 piani già costruito contenuto nel Kit

- 6) 4 strisce dello stesso materiale (plastica traslucida) dell'edificio a 3 piani contenuto nel Kit per costruire un edificio senza muri portanti
- 7) piani di carton plume per (4) per la costruzione dell'edificio senza muri portanti.
- 8) pesetti per 'stabilizzare' gli edifici

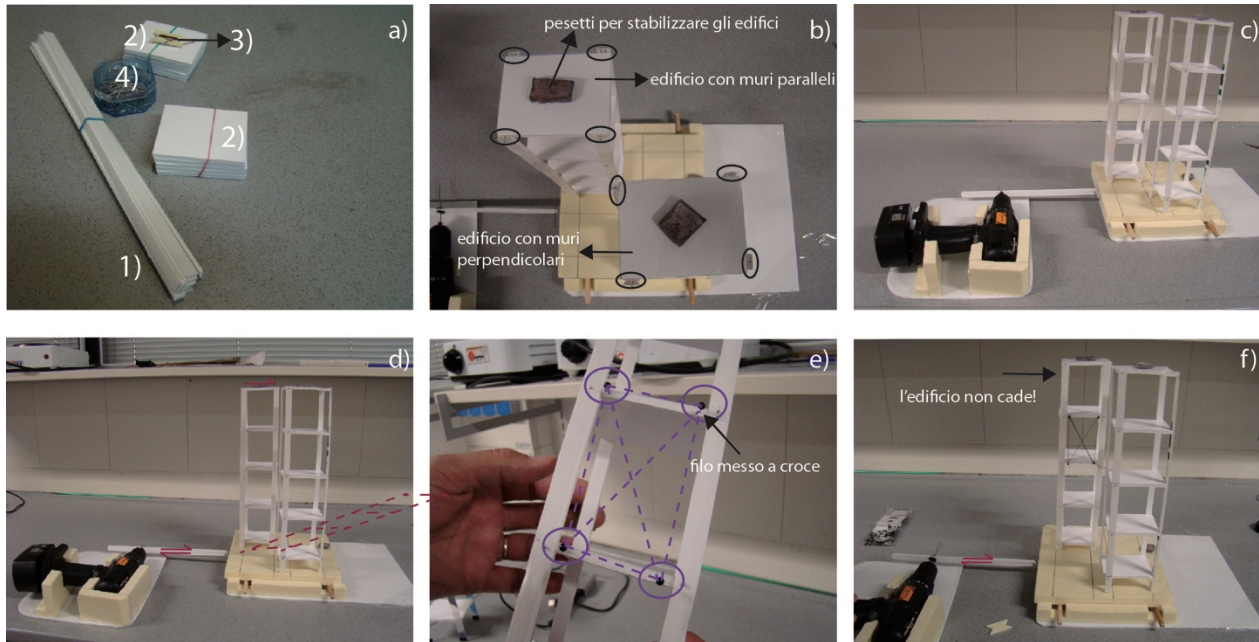


Fig. 30. Esperimento con due edifici di 4 piani, uno con muri portanti disposti ad angolo retto e uno con muri portanti disposti parallelamente.

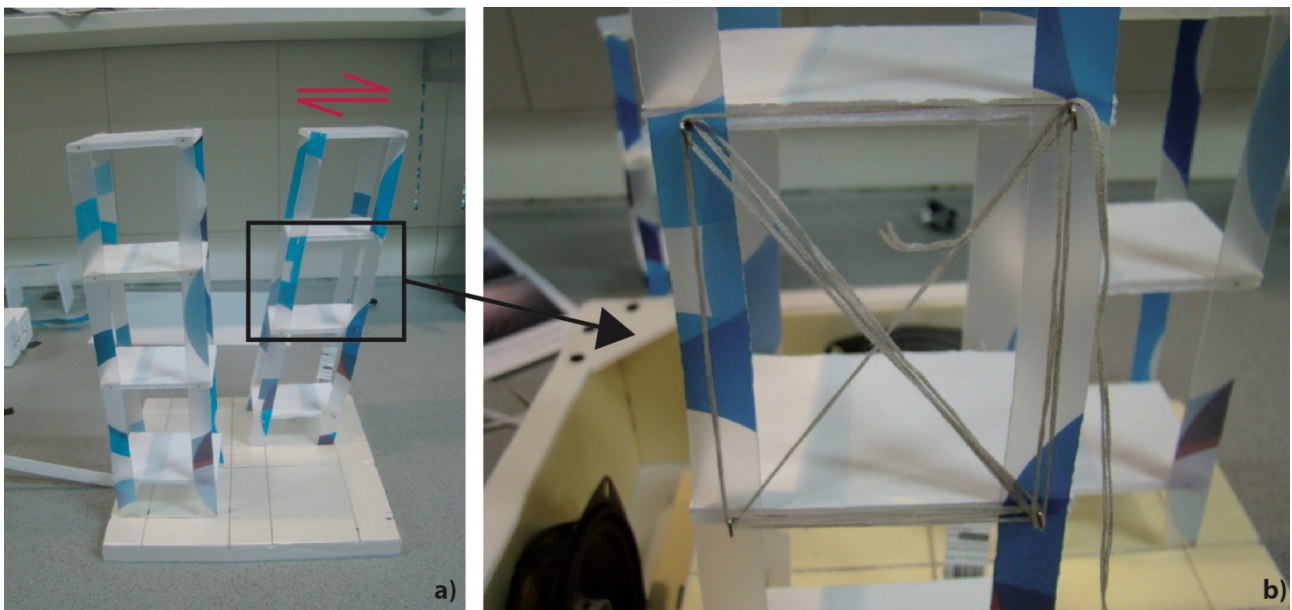


Fig. 31. Esperimento con due edifici di 4 piani, uno con muri portanti e uno senza (quello di destra in figura a). Gli edifici vanno messi con i 'muri' paralleli alla direzione di movimento della tavola vibrante. Per vedere il video clicca [qui](#).



### Esperimento

Si costruiscono gli edifici utilizzando il materiale preso dal Kit per ottenere gli edifici riportati nelle Figure 30 e 31 (solo gli edifici con 4 piani). Si dispongono gli edifici sulla base per edifici (comune alle due diverse modalità di esecuzione dell'esperimento). Nel caso dei due edifici con muri portanti disposti in modo diverso riferirsi alla Figura 30. Nel caso dei due edifici di cui uno senza muri portanti riferirsi alla Figura 30.

Quando viene indotta una sollecitazione agli edifici, indipendentemente dalla configurazione utilizzata (tavola vibrante avviata da trapano avvitatore o elettronica) si potranno notare le seguenti cose:

- nell'esperimento con edifici a muri portanti disposti diversamente, mentre l'edificio con muri messi ad angolo retto rimane in piedi, quello con muri messi parallelamente cade.
- allo stesso modo, nell'esperimento con un edificio senza muri portanti, questo cadrà alle prime sollecitazioni mentre l'altro rimarrà solidamente in piedi.

Questo comportamento è spiegato con il fatto che gli edifici caduti non sono costruiti in modo tale da avere una resistenza al taglio, necessaria per affrontare lo scuotimento indotto dal passaggio delle onde sismiche.

Ripetuti questi esperimenti un po' di volte al fine di verificare che i due edifici senza sostegno cadono sistematicamente, si interviene 'strutturalmente' su questi due edifici. Si appone un rinforzo, rappresentato dal filo contenuto nel kit. Viene disposto a croce tra due muri, secondo le modalità riportate nelle Figure 30 e 31. Questo procedimento fa sì che gli edifici si irrobustiscano e acquisiscano una resistenza agli sforzi di taglio ai quali verranno nuovamente sottoposti. Si osserverà, infatti, che riproducendo nuovamente l'esperimento, applicando cioè una nuova sollecitazione agli edifici, questi rimarranno tutti in piedi, confermando che l'intervento strutturale ha garantito maggiore solidità alla struttura. Questo tipo di intervento è comune negli edifici che devono resistere alle sollecitazioni indotte dai terremoti (Fig. 32).



*Fig. 32. Esempio di intervento strutturale per rinforzare gli edifici sottoposti a sollecitazioni sismiche.*

## 2D.2 'Ammortizza' il terremoto!

Uno dei criteri antisismici da anni utilizzato in Giappone e che piano piano sta prendendo piede in Italia è l'isolamento sismico. Semplificando, l'obiettivo dell'isolamento sismico è quello di separare il movimento della struttura da quello del terreno in caso di terremoto. La separazione pur non essendo evidentemente totale diminuisce notevolmente l'effetto del sisma sulla struttura isolata. L'isolamento sismico offre numerosi vantaggi quali la protezione dal danno delle strutture portanti, dei muri, degli impianti, di quanto contenuto e soprattutto degli esseri umani.

### Cosa prendiamo dalla scatola?

Dal Kit è necessario prendere (i numeri sono riferiti alla Figura 33):

- 1) Trapano avvitatore
- 2) Supporto per trapano avvitatore
- 3) Asticella per la trasmissione
- 4) Eccentrico
- 5) Gommini che necessari per bloccare il movimento dell'eccentrico
- 6) Supporto tavola vibrante con aste di legno (x 2)
- 7) Supporto per l'isolamento sismico con i due tubi (isolanti sismici)
- 8) Edifici di 3 altezze differenti

Inoltre, va presa la base in polistirene per fissare gli edifici (non illustrata in Figura 33).

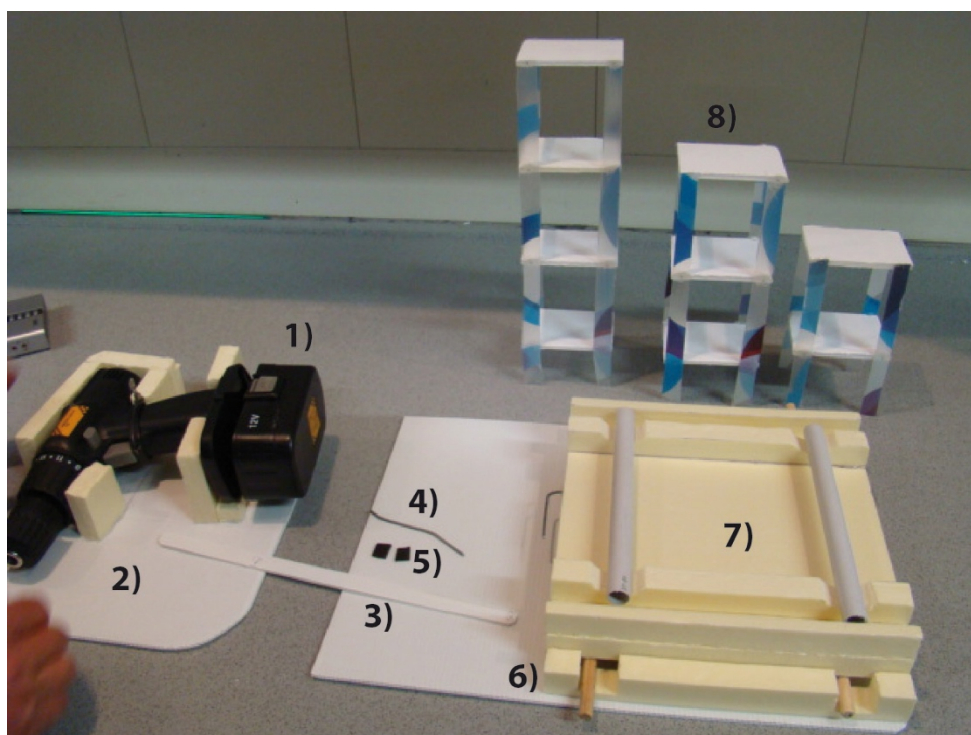
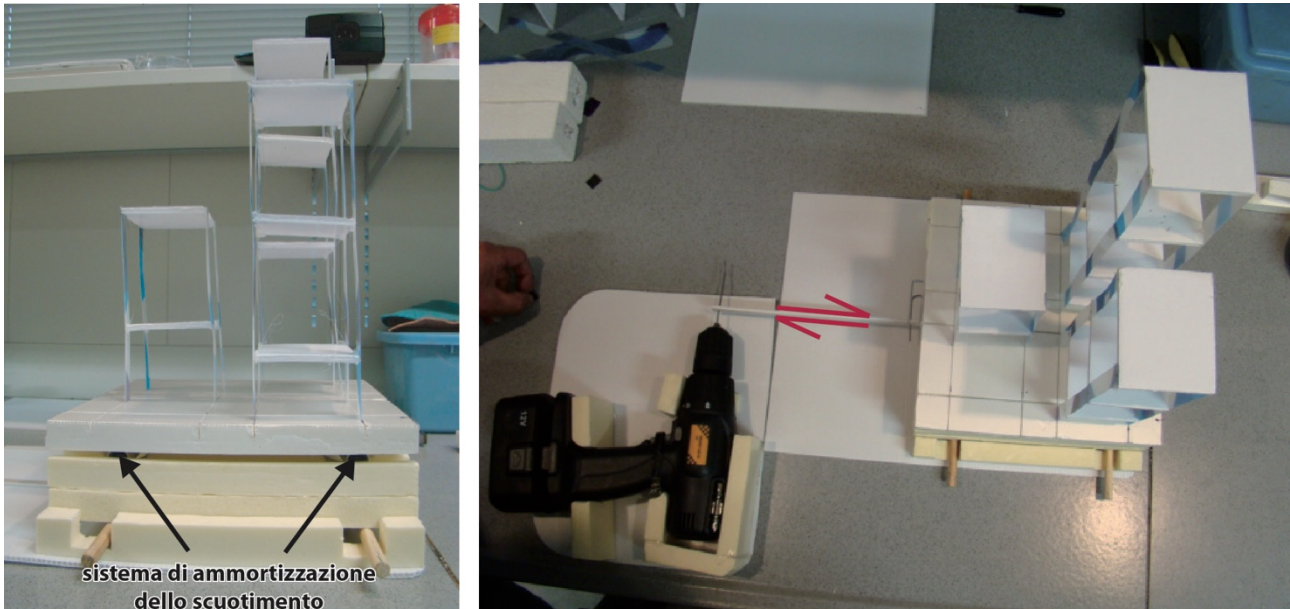


Fig. 33. Materiale necessario per l'esperimento sull'isolamento sismico.

### Esperimento

La procedura dell'esperimento è molto simile a quella dell'esperimento 2A. La differenza consiste nella configurazione in quanto in questo esperimento si aggiunge un sistema di ammortizzazione (sistema di isolamento) tra la tavola vibrante e base degli edifici (Fig. 34).















*Fig. 34. Configurazione della strumentazione per l'esperimento sull'isolamento sismico. Da notare che il sistema ha la sua frequenza di risonanza. Quindi bisogna individuare una frequenza con il trapano avvitatore che non sia la stessa del sistema altrimenti si amplifica il movimento, sortendo l'effetto contrario!)*

Avviando l'esperimento si noterà che gli edifici oscillano ma il sistema di ammortizzazione aggiunto diminuisce l'effetto del sisma sulla struttura isolata. Per vedere il video clicca [qui](#).



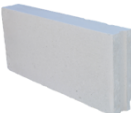










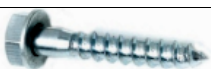



## APPENDICE A1: COME COSTRUIRE UNA SISMO-BOX DA SOLI



Il Kit didattico ‘Sismo-box: Terremoti fai-da-te’ può essere realizzato facilmente, acquistando il materiale necessario per la sua realizzazione nei negozi di bricolage, di ferramenta, di elettronica, di giocattoli.

### A1.1 MATERIALE NECESSARIO




Polistirene estruso (spessore 2 cm) Quantità: 125x60 cm		Reperibile in negozi bricolage ed edilizia (Leroy Merlin: cod. 32958982)
Carton Plume bianco (spessore 5 mm) Quantità: foglio 50x70 cm		Reperibile nei negozi di cartoleria specializzati
Policarbonato alveolare (spessore 3 mm) Quantità: 80x120 cm		Reperibile nei negozi di bricolage o in cartolerie specializzate (Leroy Merlin: cod. 33682054)
Fogli di plastica traslucida Quantità: 50x70 cm		Reperibile nei negozi di cartoleria specializzati (o ricavabile contenitori documenti di plastica, vedi foto)
Tubo passafilili rigido (Ø 20 mm) Quantità: 2m		Reperibile nei negozi di bricolage o di idraulica (Leroy Merlin: cod. 32983902)
Tubo passafilili rigido (Ø 16 mm) Quantità: 2m		Reperibile nei negozi di bricolage o di idraulica (Leroy Merlin: cod. 32983895)
Elastici di diverse misure		Reperibili presso cartolerie
Piombo da pesca oliva bombato e forato (75 g) Quantità: 1		Reperibile nei negozi che vendono articoli per la pesca (Decathlon: cod. 224461)
Elastico sottilissimo da pesca (0.8/1 mm) Quantità: 20-30 cm		Reperibile nei negozi che vendono articoli per la pesca (Decathlon: cod. 637517)
Carta abrasiva (120) Quantità: 1 m		Reperibile presso ferramenta o negozi di bricolage
Spilli		Reperibili presso mercerie
Spilli con testa sferica		Reperibili presso mercerie o in cartolerie



Nastro 'americano'		Reperibile nei negozi di ferramenta o di bricolage
Nastro isolante		Reperibile nei negozi di ferramenta o di bricolage
Calcestruzzo alleggerito (Syporex) (h: 5cm circa) Quantità: 1 blocco		Reperibile nei negozi di bricolage o di edilizia (es. Leroy Merlin)
Tappi di plastica (Ø = 4 cm) Quantità: 5		Utilizzare tappi delle bottiglie del latte, di damigiane, ecc
Biglie (Ø = 16 mm) Quantità: 12		Reperibile nei negozi di giocattoli
Bacchetta tonda di legno (tiglio/faggio) Ø = 8/9 mm Quantità: 100 cm		Reperibile nei negozi di bricolage (Leroy Merlin: cod. 33899621/32971050)
Bullone testa svasata più dadini Quantità: 1 bullone e 2 dadini		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage (Leroy Merlin: cod. 34404104)
Lastrina piegata metallo (80x80 mm; l = 2cm) Quantità: 2		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Rondella grembialina (Ø = 20 mm) Quantità: 1		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Occhiolo a vite (Ø = 2.5 mm x 10 mm) Quantità: 1		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Fil di ferro (Ø = 2 mm)		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Viti 3.5mm x 50 mm (quant.: 2) Viti 3.5mm x 25 mm (quant.: 20)		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Stop 7 mm x 35 mm (per viti 3.5mm x 50 mm) Quantità: 20		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Vite autofilettante testa esagonale (5mm x 50 mm) Quantità: 1		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Chiodi 3.5 x 80 mm Chiodi 1.4 mm x 25 mm Quantità: 2 per tipo		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
Fascetta stringitubo Ø = 32-50 mm Quantità: 1		Reperibile nei negozi di ferramenta o bricolage
elemento piezoelettrico Quantità: 2		Reperibile presso negozi di elettronica o in vendita online ( <a href="http://www.conrad.it">www.conrad.it</a> : cod. 710397)

Cavo Jack Connettore da 3.5 mm (estremità cavo aperta) Quantità: 2		Reperibile presso negozi di elettronica o in vendita online ( <a href="http://www.conrad.it">www.conrad.it</a> : cod. 710318)
Filo di rame ultrasottile (0.15 mm) per costruire la bobina Quantità: 1		Reperibile presso negozi di elettronica o in vendita online ( <a href="http://www.conrad.it">www.conrad.it</a> : cod. 242536)
Piccoli magneti permanenti ( $\varnothing$ = 8mm; h = 5mm) Quantità: 2-3		Reperibile nei negozi di elettronica o in vendita online ( <a href="http://www.conrad.it">www.conrad.it</a> : cod. 185106)
Scheda audio esterna USB Sweex 7.1 (o similari) Quantità: 1		Reperibile nei negozi di elettronica o online (es. Amazon.it)
Amplificatore Hi-Fi Dynavox CSPA1 (o similari) Quantità: 1		Reperibile nei negozi di elettronica o in vendita online (es. Amazon.it)
Altoparlanti da auto Speaka (o similari) Quantità: 2		Reperibile nei negozi di elettronica o in vendita online ( <a href="http://www.conrad.it">www.conrad.it</a> : cod. 300237)
Cavo collegamento amplificatore-scheda audio Quantità: 1		Reperibile nei negozi di elettronica o in vendita online ( <a href="http://www.conrad.it">www.conrad.it</a> : cod.325090)
Trapano avvitatore a batteria con numero di giri regolabile Quantità: 1		Reperibile nei negozi di ferramenta o di bricolage
Contenitore di plastica (35 litri; L = 58cm; l = 40 cm; h = 19 cm) Quantità: 1		Reperibili in negozi di casalinghi (Leroy Merlin: cod. 32101762)
Cinghie di ancoraggio Quantità: 2		

Inoltre, sono necessari alcuni strumenti per la realizzazione delle diverse parti del kit (probabilmente sono strumenti già presenti nei laboratori delle scuole).

Pistola per colla a caldo		
Taglierino e sega		
Saldatore		

## **A1.2 REALIZZAZIONE COMPONENTI SISMO-BOX**

In questa sezione troverete le informazioni necessarie per realizzare il Kit ‘Sismo-box: terremoti fai da te’ autonomamente.

### **ACCESSORI PER IL SISMOMETRO**

#### **Realizzazione della bobina**

Per la realizzazione della bobina è necessario:

- filo di rame ultrasottile (0.15 mm)
- tubo passafili rigido (Ø 16 mm)
- 1 cavo jack connettore da 3.5 mm (mono o stereo)
- colla a caldo
- giornale
- nastro isolante
- forbici
- trapano avvitatore
- un accessorio che permetta l'avvolgimento della bobina (vedi foto 5 Figura A1.2\_1 e testo)

Per la realizzazione della bobina si seguano le istruzioni di Figura A1.2\_1. Si consiglia di realizzare una bobina con un numero elevato di spire (circa 2000). Le bobine indicate nell'appendice A1.1 permettono di ottenere una bobina con queste caratteristiche. Per realizzare la bobina si prende il tubo passafili rigido (Ø 16 mm) dell'altezza di 4 cm (1). Si realizzano dei bordi incollando il tubo su un giornale con colla a caldo (2), e ritagliando la carta in eccesso (3). Si fissa, sempre con colla a caldo, a un estremo del tubo l'inizio del filo di rame (4). Attraverso uno strumento realizzato a mano (quello in 5 è realizzato con un legno lavorato fissato a un chiodo da inserire nel trapano avvitatore) si fissa la bobina da realizzare al trapano avvitatore (6). Azionando il trapano si trasferirà il filo di rame sul tubo di plastica, stando molto attenti a tenere il filo ben tirato e a distribuire il filo in modo omogeneo lungo l'intero tubo. Una volta terminato l'avvolgimento si fissa la terminazione del filo di rame sullo stesso estremo del tubo, facendo attenzione che le due terminazioni non si tocchino (7-8). Si prende il cavo jack connettore e si prende uno dei due fili attivi (il 'bianco') e una massa (se il cavo è stereo) oppure direttamente i due fili (se il cavo è mono, come nella figura) (9). Si saldano i due fili di rame con i due fili del cavo (bianco + massa oppure i due cavi del filo mono) (10-11-12). Si isolano con il nastro isolante (13-14) e successivamente si avvolge tutta la bobina con il nastro isolante (15).



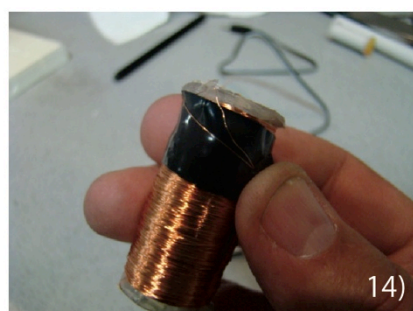
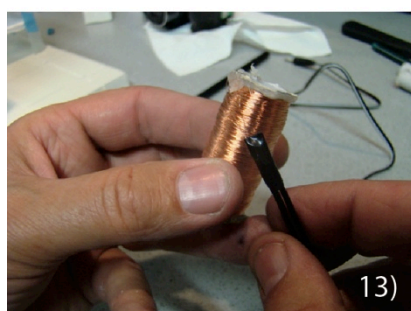
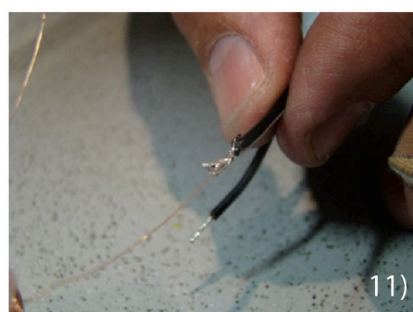
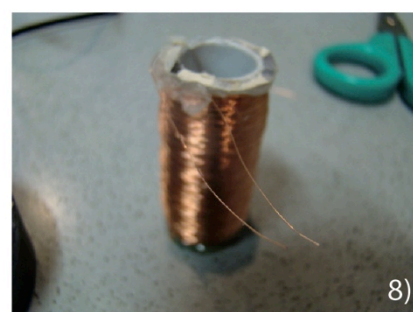
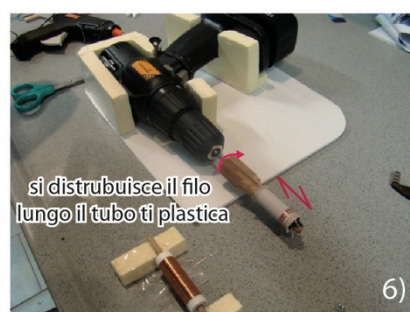
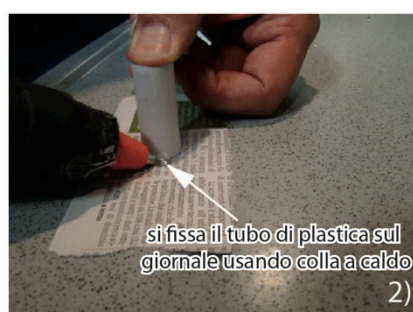


Figura A1.2\_1 - Come si costruisce la bobina del sismometro. Clicca [qui](#) per vedere il video di come arrotolare il filo di rame.



### Realizzazione sistema massa-magnete

Per la realizzazione del sistema massa magnete è necessario:

- 1 vite autofilettante testa esagonale (5mm x 50 mm)
- 1 occhiolo a vite
- 1 piombo da pesca oliva bombato e forato (75 g)
- 1 bullone testa svasata e due dadini
- 1 tappo di plastica
- un trapano
- una sega
- una lima piatta

I magneti e l'elastico (molla) saranno necessari al momento di assemblare il sismometro.

Per la realizzazione del sistema fare riferimento alle istruzioni riportate in Figura A1.1\_2.

### Realizzazione base/supporto sismometro

Per la realizzazione della base del sismometro è necessario:

- polistirene estruso
- tubo passafili rigido (Ø 20 mm)
- bacchetta tonda di legno
- policarbonato alveolare
- 2 viti 3.5 x 5.5 mm (e stop)
- lima cilindrica bombata

La vaschetta e gli elastici per fissare la bobina saranno necessari al momento di montare il sismometro (nel Kit tutti questi accessori sono contenuti in un barattolo di plastica che funge anche da vaschetta per l'acqua, vedi esperimento pagina 7).

Per la realizzazione della base fare riferimento alle istruzioni riportate in Figura A1.1\_3. Il tubo di plastica deve essere inserito interamente nella base verticale, motivo per cui questa è completamente forata. Il foro cilindrico nella base verticale si può fare o manualmente con un punteruolo e poi rifinito con la lima oppure tagliando il polistirene in due parti separate e limate e poi incollate tra le due lastre di policarbonato alveolare. In entrambi i casi il foro deve essere del giusto diametro in modo tale da permettere al tubo di essere posizionato solidamente con la struttura.

Il foro nel tubo di plastica per inserire la bacchetta di legno può essere effettuata con un trapano, con una punta adatta al diametro della bacchetta. Si raccomanda di effettuare il buco orizzontale in modo tale che tubo e bacchetta siano perpendicolari.

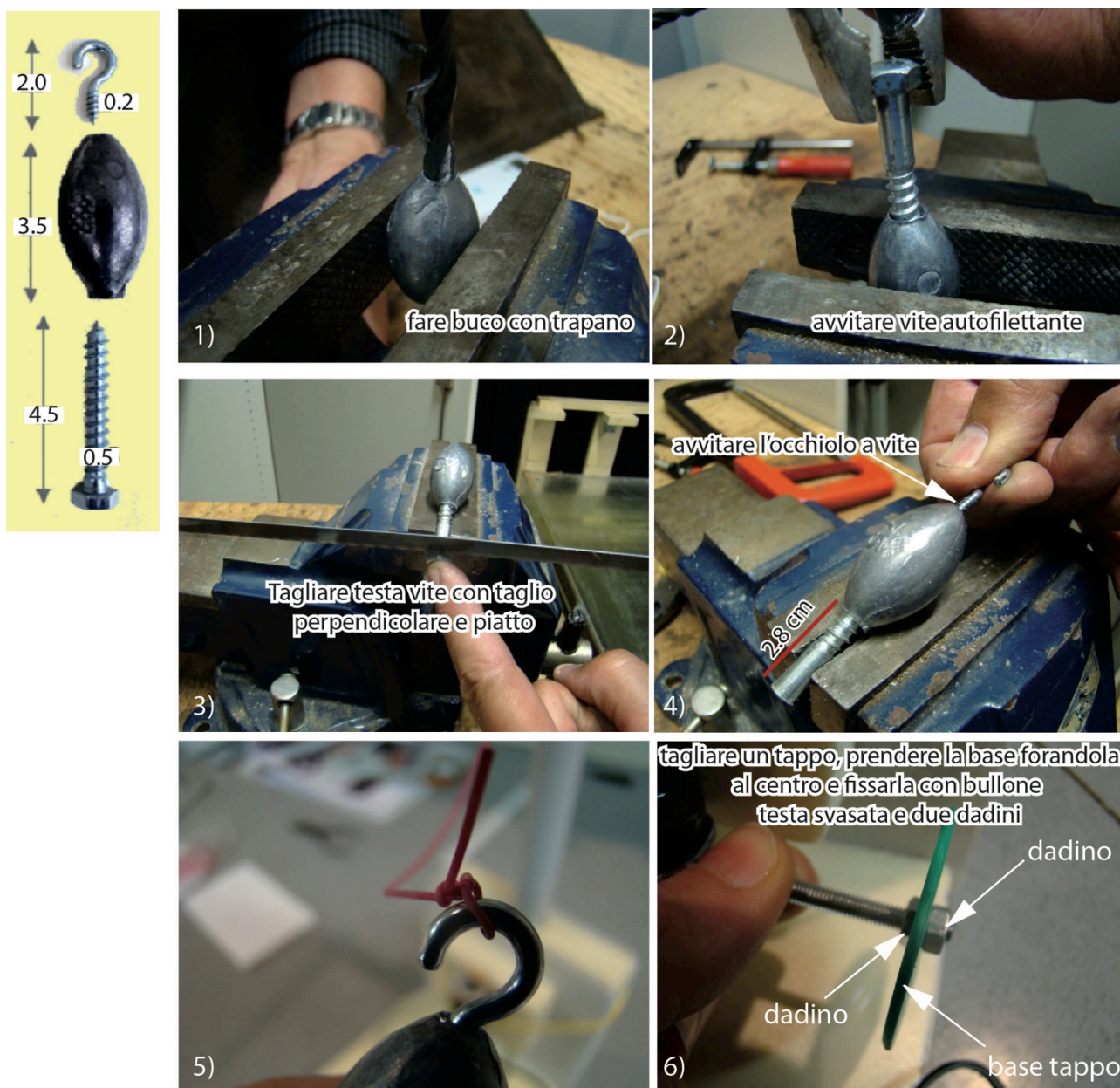


Figura A1.2\_2. Come preparare il sistema massa/magnete da utilizzare per il sismometro. Si raccomanda di tagliare la vite (3) in modo tale che la superficie sia piatta e perpendicolare alla vite stessa in modo tale che i magneti aderiscano correttamente (vedi Figura 6 - Allestimento sismometro).



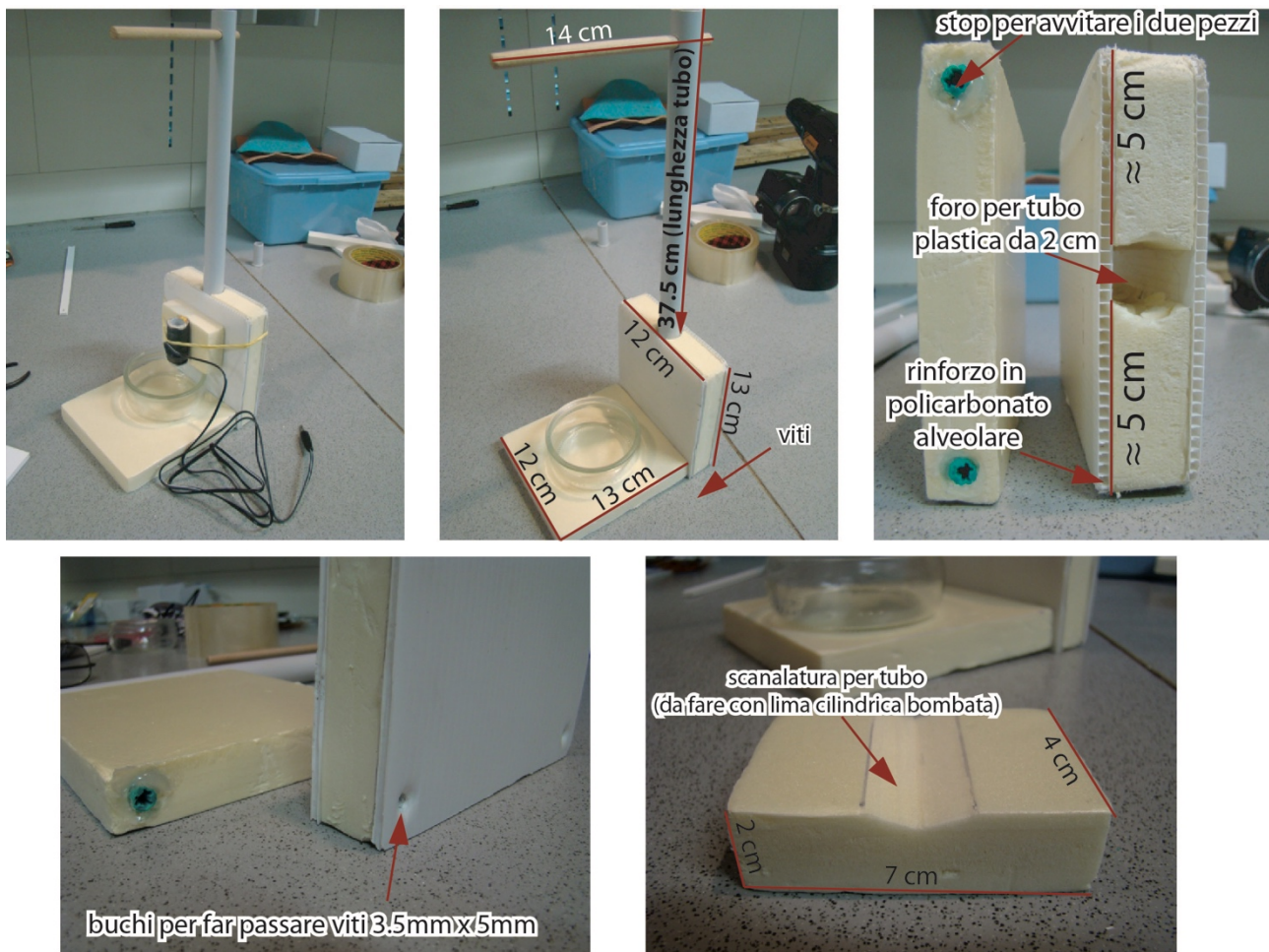


Figura A1.2\_3. Come costruire il supporto del sismometro.

## REALIZZAZIONE MURI EDIFICI

Serve: polipropilene alveolare, plastica traslucida, due squadre, una penna e un tagliarino.

Muri in polipropilene alveolare: 8 pezzi di  $h = 37.5$  cm,  $l = 1.5$  cm

Muri in plastica traslucida:

Edifici a 4 piani (x2): 8 pezzi di  $h = 32$  cm,  $l = 1.5$  cm

Edificio a 3 piani (x1): 4 pezzi di  $h = 23.5$  cm,  $l = 1.5$  cm

Edificio a 2 piani (x1): 4 pezzi di  $h = 16$  cm,  $l = 1.5$  cm

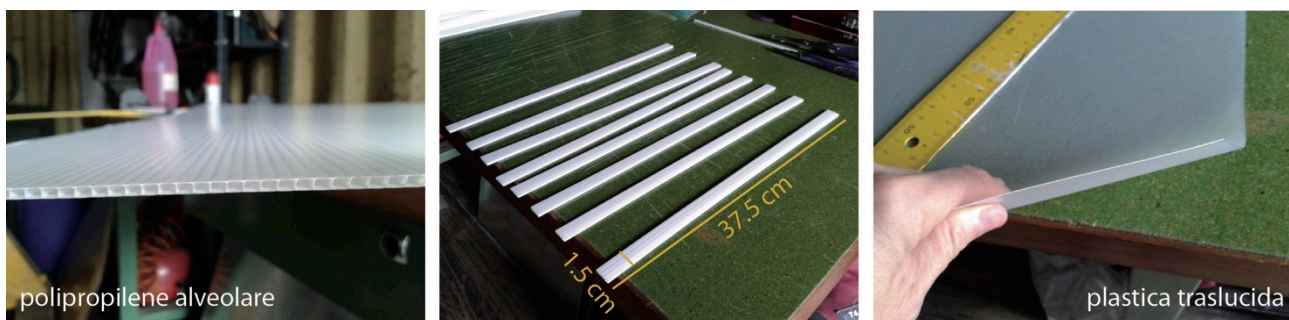


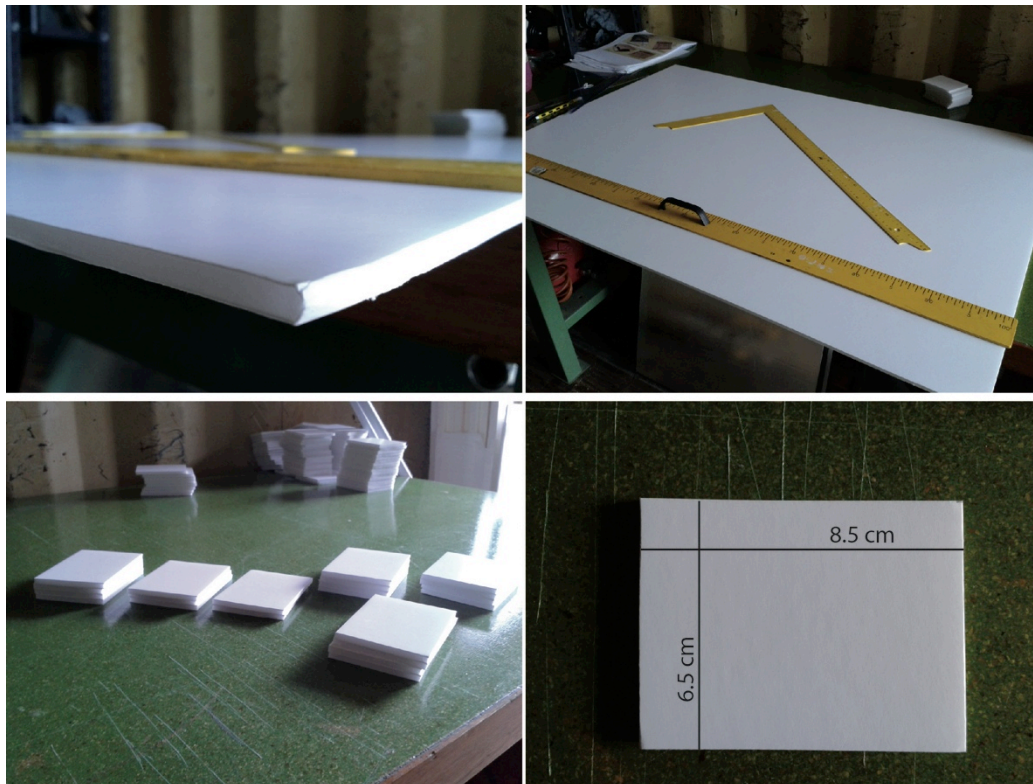
Figura A1.2\_4. Come ottenere i 'muri' degli edifici.

## REALIZZAZIONE PIANI EDIFICI

Serve il carton plume (Figura A1.2\_5), due squadre, una penna e un taglierino

Bisogna realizzare rettangoli di dimensioni 8.5 cm x 6.5 cm

Per un Kit sono necessari 21 piani (si consiglia di farne qualcuno di più per riserva)



*Figura A1.2\_5. Come ottenere i 'piani' degli edifici.*

## COME 'COSTRUIRE' I PALAZZI

Per montare gli edifici 'stabili' del Kit (1 edificio a 4 piani, 1 edificio a 3 piani e 1 edificio a 2 piani, punto 1 in Figura A1.2\_6, è necessario munirsi di piani in carton plume, muri in plastica traslucida di diverse lunghezze, colla a caldo, chiodini (2). I muri e i piani si incollano con colla a caldo (3-4) e successivamente fissati con spilli (5). E' necessario mantenere la perpendicolarità tra piani e muri (6-7) e una distanza tra piani nei singoli edifici come riportato nel punto 1 di Figura A1.2\_6. Gli altri palazzi (con muri in polipropilene alveolare e con muri in plastica traslucida per un palazzo da 4 piani diverso da quello 'stabile' perché muri e piani non sono saldati) sono contenuti smontati nel Kit, e vengono assemblati prima di effettuare l'esperienza sulla stabilità degli edifici (esperimento 2D a pag. 37).



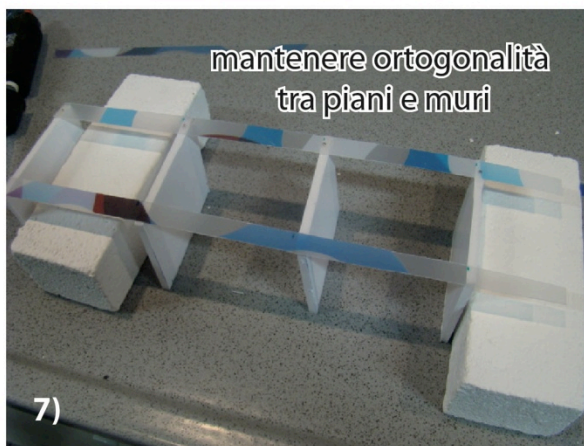
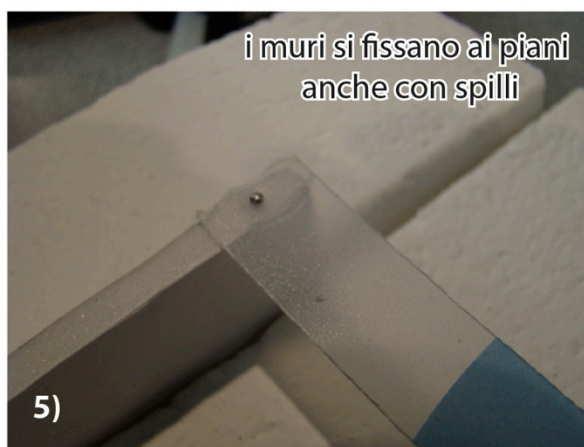
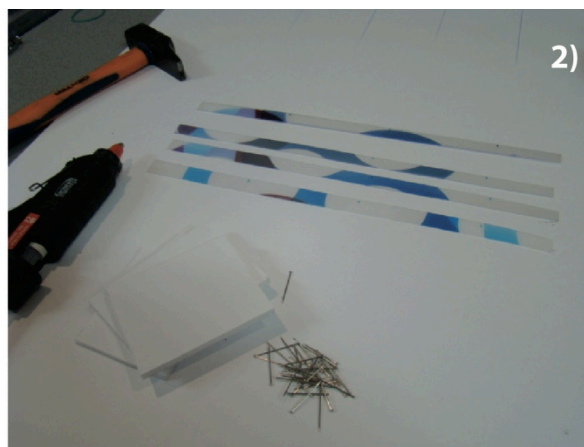
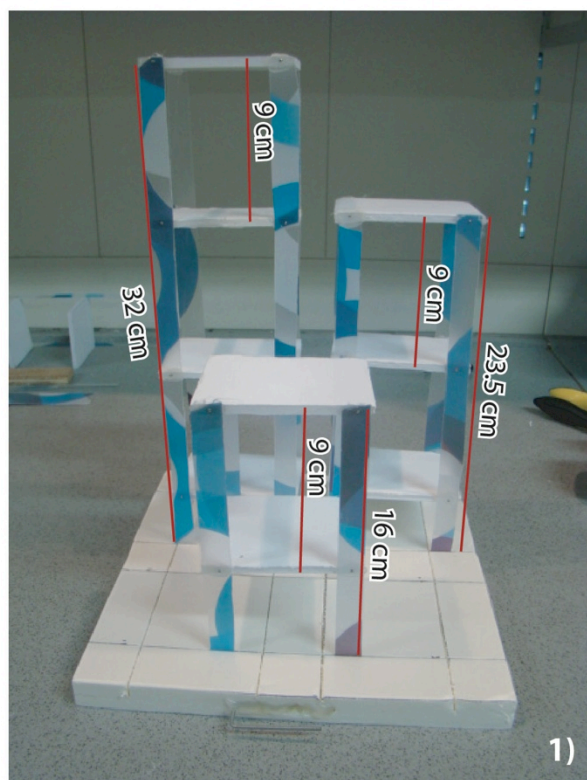


Figura A1.2\_6. Come montare gli edifici 'stabili'.



## REALIZZAZIONE BLOCCHETTI IN SYPOREX

Il syporex (calcestruzzo alleggerito) è semplice da tagliare (con una sega per esempio). Una volta ottenuti i blocchetti si effettua un buco ad un'estremità (con un trapano ma a bassa velocità data la delicatezza del materiale) e si applica un gancio (fatto con fil di ferro) saldato con colla a caldo nel blocchetto. Il blocchetto si può verniciare per renderlo impermeabile ed evitare che perda polvere (Figura A1.2\_7)

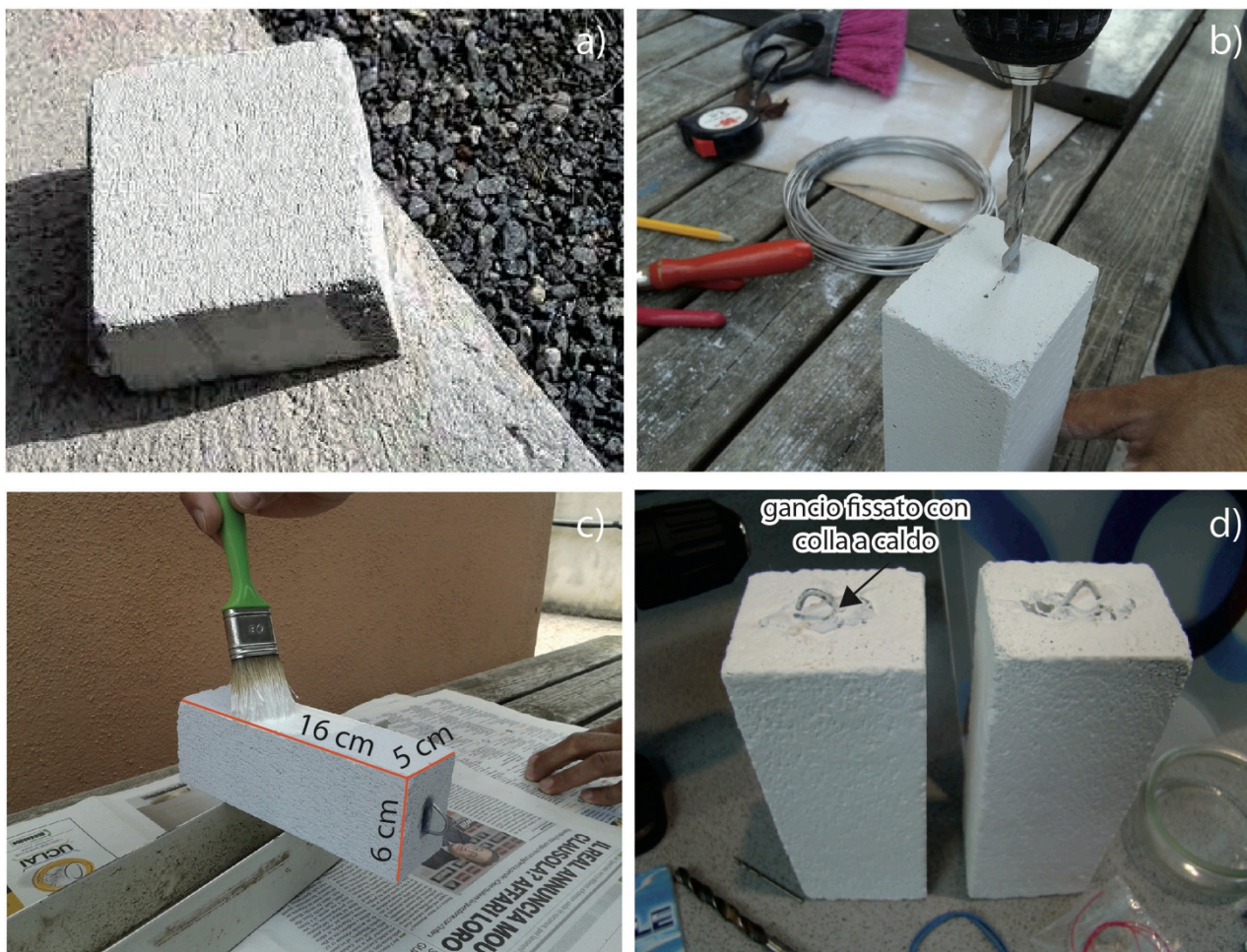


Figura A1.2\_7. Come realizzare i blocchetti in syporex.

## BASI IN POLISTIRENE ESTRUSO

Nel Kit tutte la maggior parte delle basi che vengono utilizzate per i diversi esperimenti hanno forma quadrata e dimensioni 24 cm x 24 cm (1 in Figura A1.2\_8). In tutto ne servono 6.

Il polistirene si taglia facilmente con un buon taglierino. Per ottenere il supporto degli edifici si segue la procedura riportata in Figura A1.2\_8. Con una penna si tracciano le linee lungo le quali andrà prodotto un solco (2) e in seguito, utilizzando una sega e aiutandosi con due supporti di legno di altezza definita (circa 1 cm) si faranno delle incisioni (4 e 5) che servono per fissare gli edifici stabilmente al supporto.

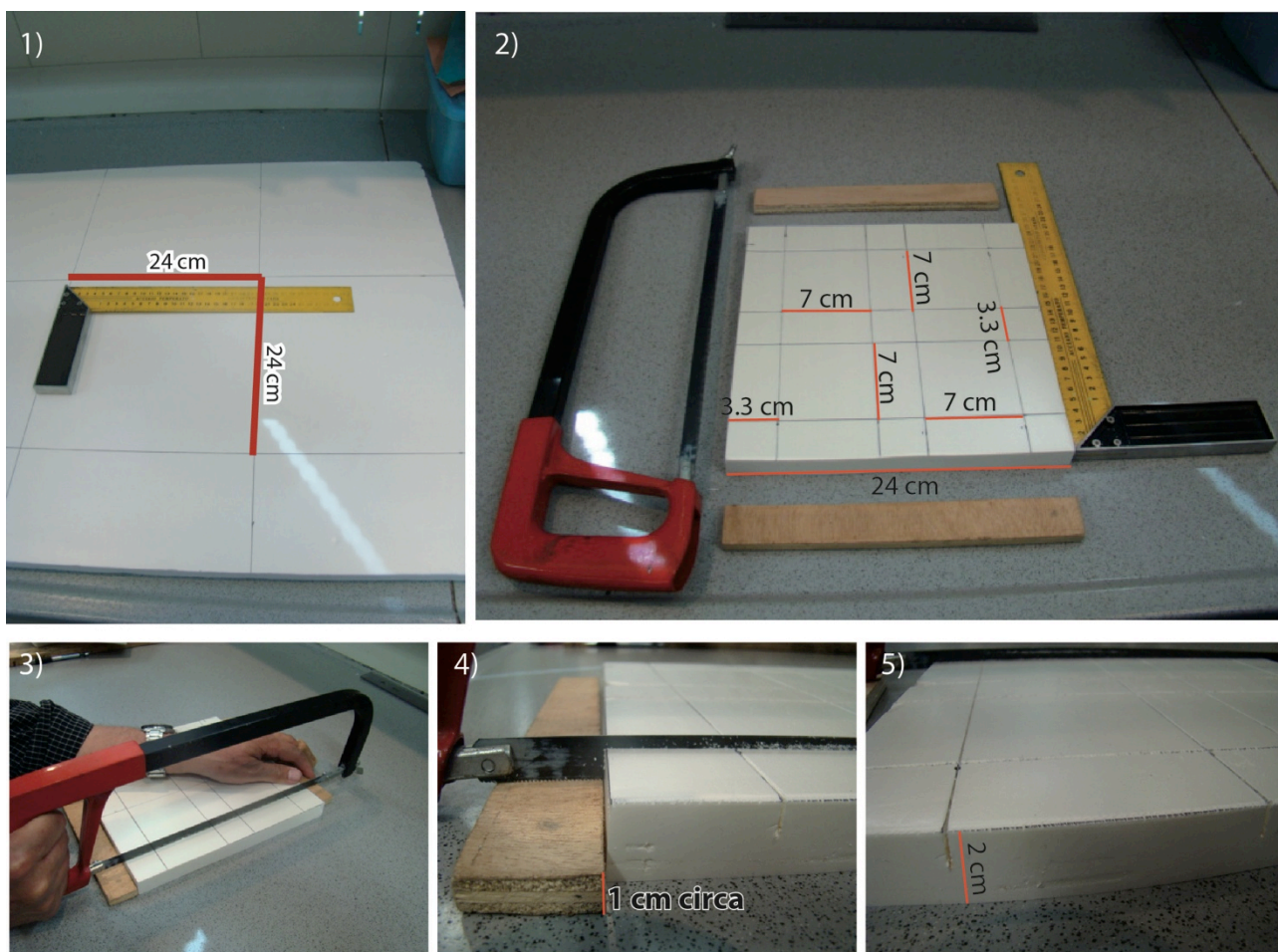


Figura A1.2\_8. Preparazione basi quadrate e basi (sempre quadrata) che serve da supporto agli edifici.

### COME COSTRUIRE I GANCI DA INSERIRE NELLE BASI IN POLISTIRENE ESTRUSO

Molte basi sono dotate di ganci che servono per collegarle ai dispositivi che generano vibrazioni sulle tavole vibranti. Per la realizzazione dei ganci è necessario munirsi di:

- fil di ferro
- pinza
- cacciavite
- colla a caldo

Per la loro realizzazione dei ganci e come inserirli nelle basi si seguano le istruzioni riportate in Figura A1.2\_9. Per vedere il video clicca [qui](#).



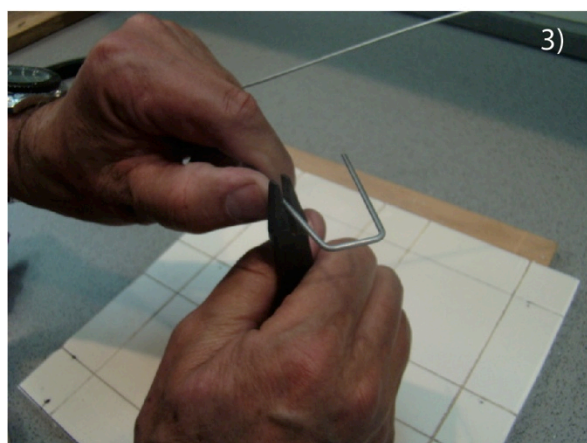
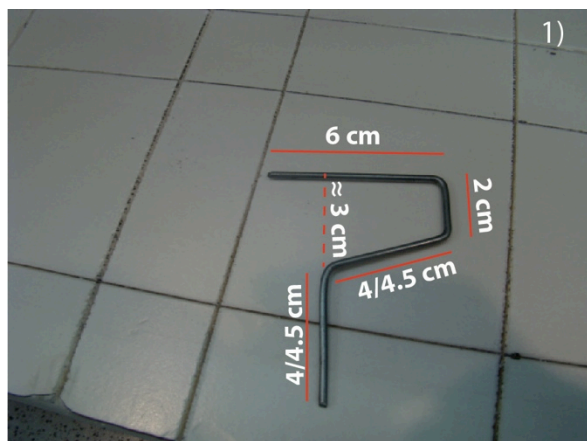


Figura A1.2\_9. Come realizzare ganci e inserirli nelle basi di polistirene estruso.

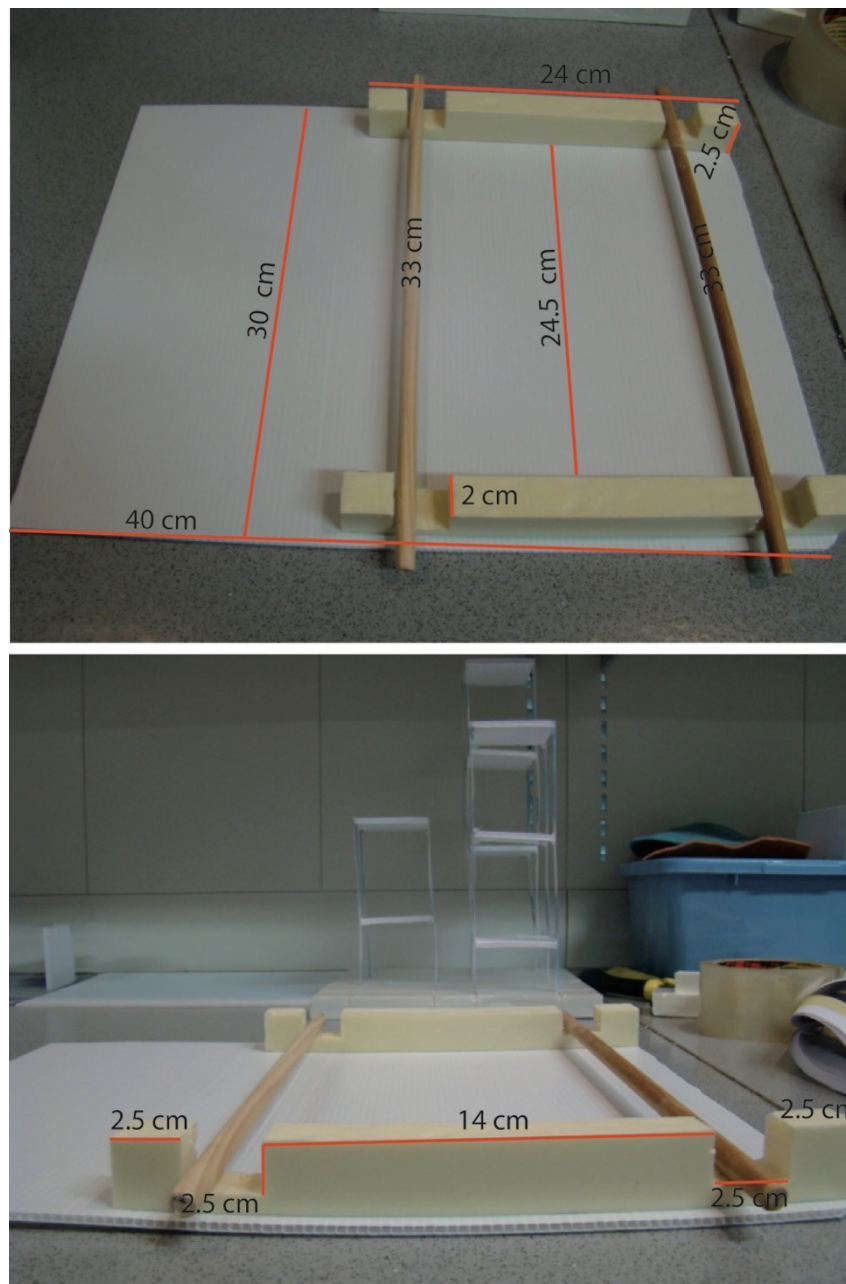


## REALIZZAZIONE SUPPORTO PER TAVOLA VIBRANTE MECCANICA

Per la realizzazione è necessario avere:

- polistirene estruso
- policarbonato alveolare
- bacchette di legno
- colla a caldo
- taglierino
- squadre

Per la realizzazione del supporto fare riferimento alle indicazioni riportate in Figura A1.2\_10



*Figura A1.2\_10. Come realizzare il supporto per la tavola vibrante (shaking table) meccanica.*

## REALIZZAZIONE DELLA TAVOLA VIBRANTE (*SHAKING TABLE*) ELETTRONICA

Per la realizzazione della tavola vibrante serve:

- Polistirene estruso
- Policarbonato alveolare
- Viti
- Chiodini
- Tubo passafili rigido ( $\varnothing$  16 mm)
- Altoparlanti
- Fil di ferro
- 12 biglie ( $\varnothing$  = 16 mm)
- 4 tappi per bottiglie ( $\varnothing$  = 4 cm)
- 2 Lastrine piegate metallo (80x80 mm; l = 2cm)

Per l'utilizzo della tavola vibrante elettronica, inoltre, bisognerà utilizzare una scheda audio esterna e un amplificatore (con relativi cavi di collegamento tra dispositivi e con il computer). Per i dettagli vedi Tabella in appendice A1.1.

Per la realizzazione della tavola vibrante riferirsi alle illustrazioni riportate in Figura A1.2\_11.

Gli altoparlanti, prima di essere utilizzati, devono essere modificati, seguendo la procedura riportata in Figura A2.1\_12. Per la modifica delle casse è necessario applicare su ogni altoparlante un supporto che serve per trasformare il suono che esce in vibrazioni sulla tavola vibrante. E' necessario tagliare il tubo di plastica di  $\varnothing$  = 16 mm e ottenere due cilindri di 1.5 cm di altezza (b) che andranno incollati con colla a caldo (o con una colla a presa rapida) al centro dell'altoparlante (c). I cilindri devono essere forati in modo tale da essere attraversati dal chiodo (b-c). L'asticella per la trasmissione delle vibrazioni è di policarbonato alveolare e deve avere una lunghezza di 4 cm circa (b). Deve inoltre essere forata in due punti, uno necessario per essere fissato alle casse tramite il chiodo (2 in b e d) e un altro per essere collegato con la tavola vibrante (1 in b e d).

Per come allestire la tavola vibrante riferirsi alle indicazioni riportate nell'esperimento 1D a pagina 24 di questa guida.

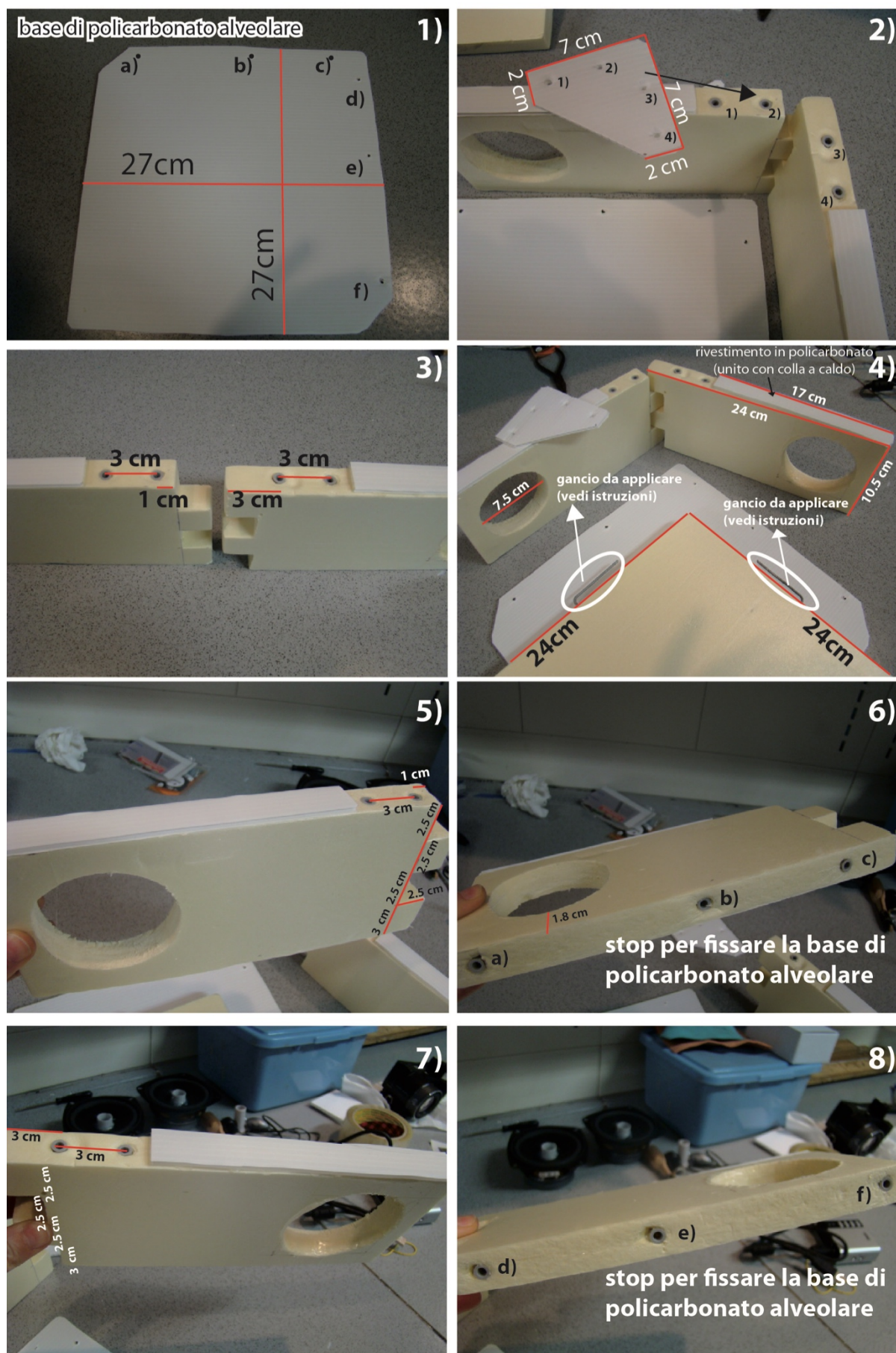


Figura A1.2\_11. Come realizzare la tavola vibrante (shaking table) elettronica.



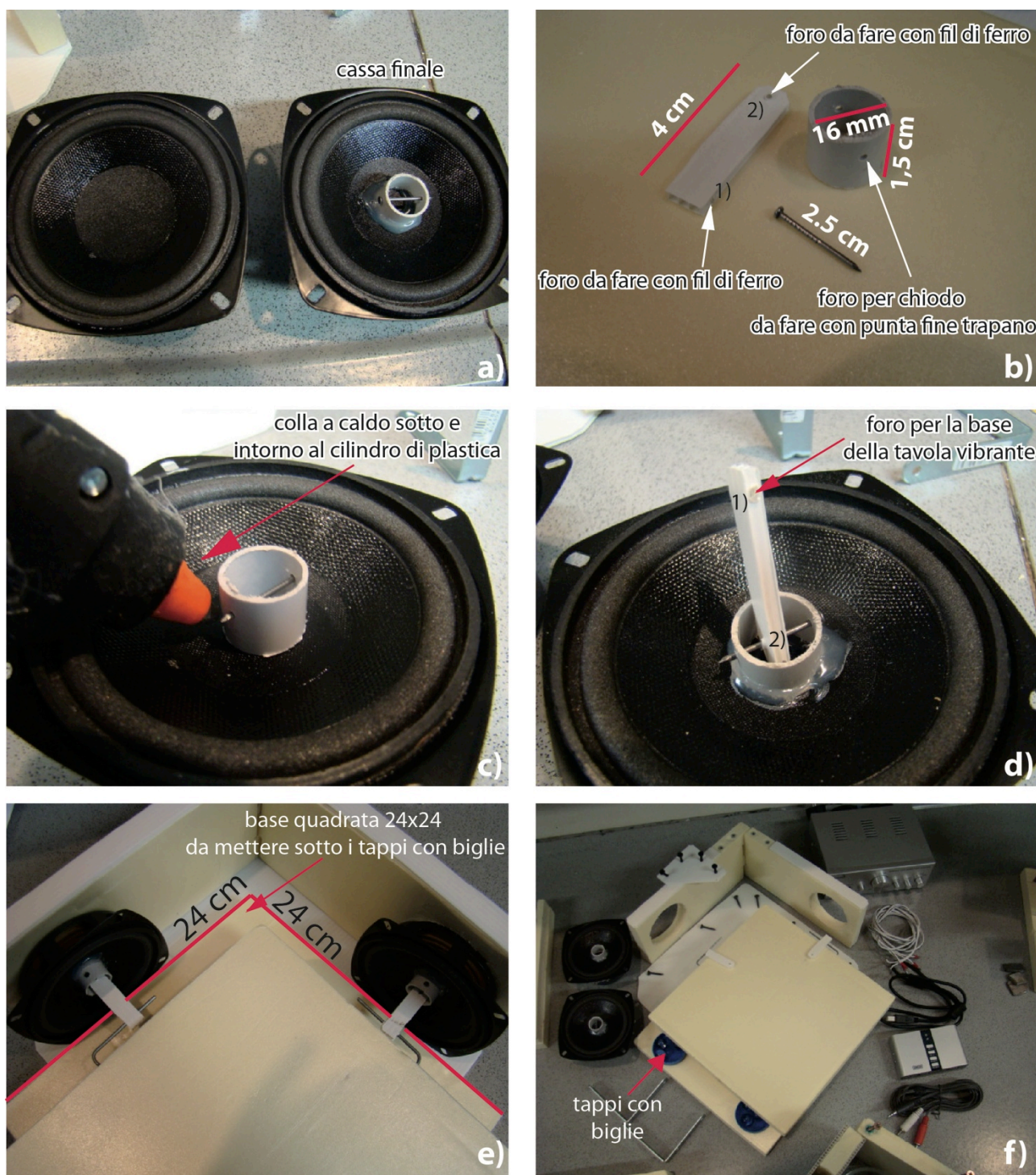


Figura A1.2\_12. Come realizzare la tavola vibrante (shaking table) elettronica (casse).

## REALIZZARE IL COLLARE PER L'INTERRUTTORE DEL TRAPANO AVVITATORE

Questo accessorio viene applicato sull'interruttore del trapano avvitatore in modo tale che si riesce a variare la velocità del trapano con gradualità e tenerla costante anche per un lungo tempo (difficile da mantenere se l'operatore lo fa manualmente).



Per la realizzazione è necessario munirsi di fascetta stringitubo  $\varnothing = 32-50$  mm, una rondella (5.3 x 20 mm), una sega, colla a caldo. Si vedano le istruzioni illustrate in Figura A1.2\_13



Figura A1.2\_13. Come realizzare il collare per il trapano avvitatore.

### COME COSTRUIRE IL TRASDUTTORE DI SEGNALE PIEZOELETTRICO

Il trasduttore di segnale piezoelettrico trasforma l'energia meccanica dovuta alle vibrazioni del suolo in energia elettrica. Per la sua realizzazione è necessario procurarsi:

- 1 cavo jack connettore da 3.5 mm (stereo)
- 2 elementi piezoelettrici
- saldatore
- nastro isolante

Per la realizzazione del sensore piezoelettrico fare seguire i passaggi riportati in Fig. A1.2\_14.



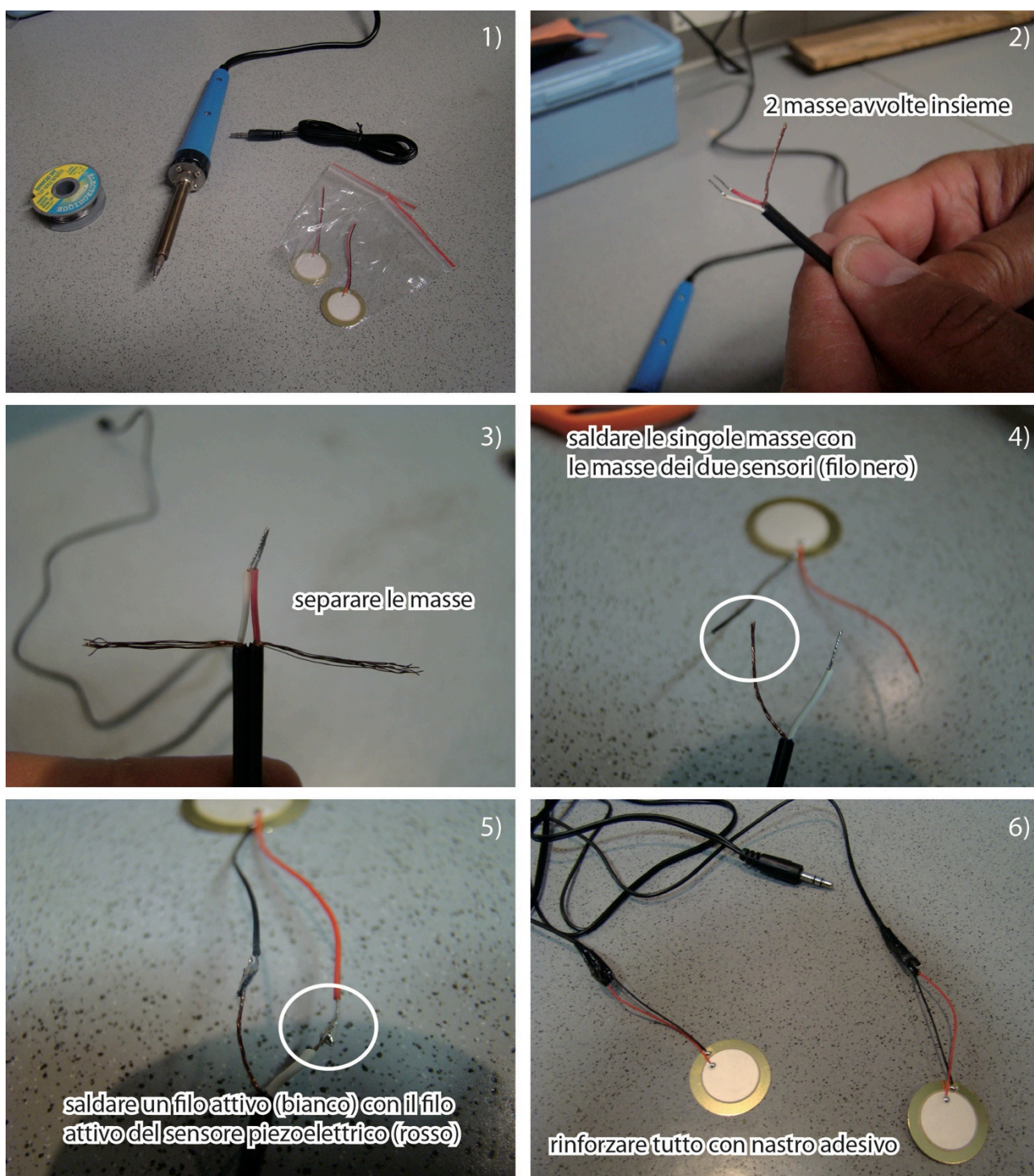


Figura A1.2\_14. Come realizzare il trasduttore di segnale piezoelettrico.

## SUPPORTO PER TRAPANO AVVITATORE

Per una corretta realizzazione degli esperimenti, è preferibile che il trapano avvitatore sia alloggiato in un supporto stabile in modo tale da rimanere fermo durante le diverse operazioni. Le misure del supporto per trapano si riferiscono al trapano incluso nel Kit didattico realizzato nella guida (vedi

[illegible]

## SISTEMA TRASMISSIONE ROTAZIONE/TRASLAZIONE

Per la realizzazione del sistema riferirsi alle indicazioni riportate in Figura A1.2\_16. In Figura l'asta della trasmissione ha i fori agli estremi, ma il foro per l'eccentrico può essere realizzato anche più internamente.



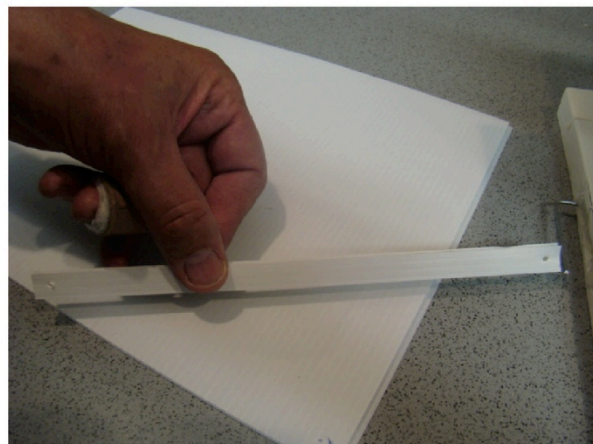
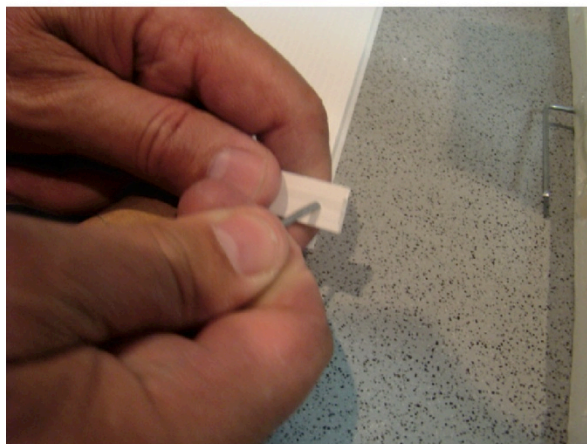
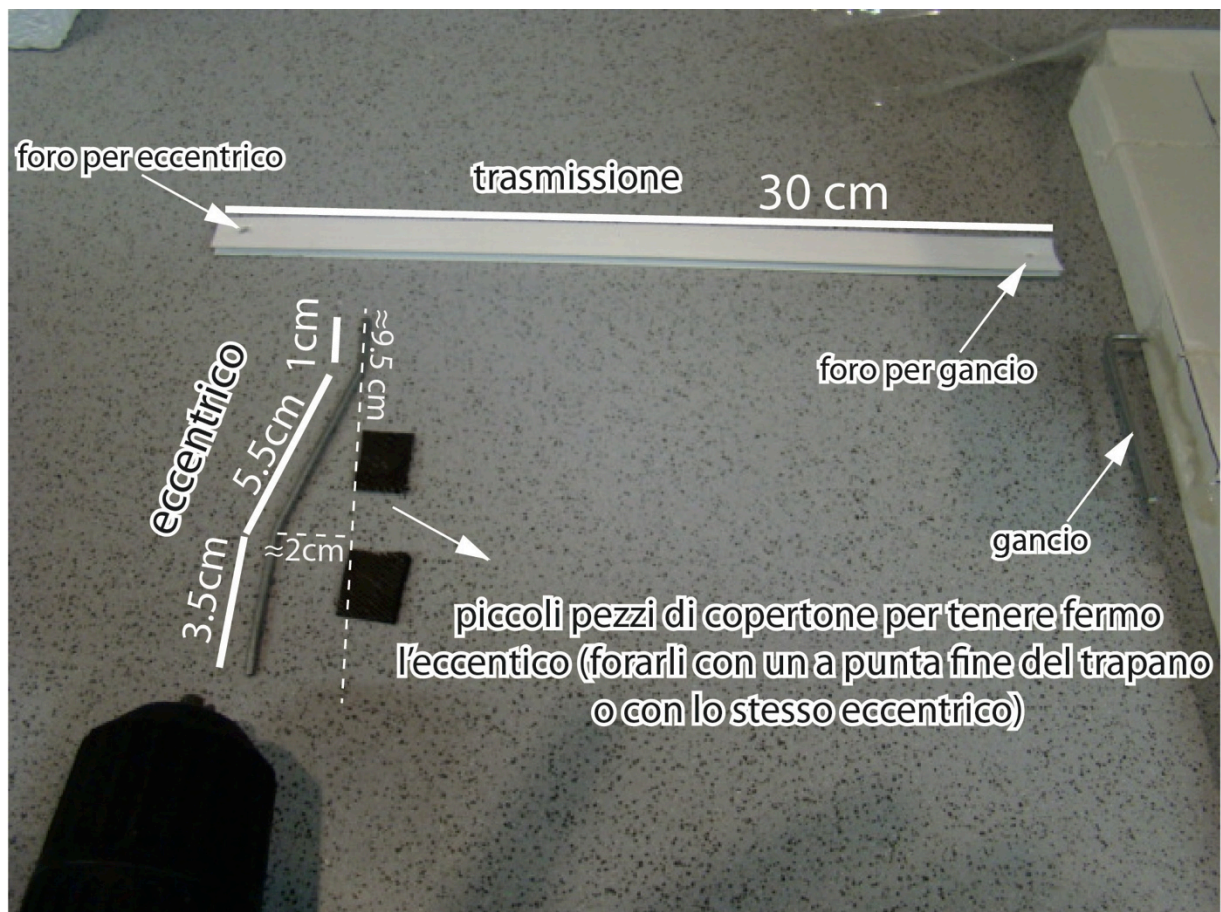


Figura A1.2\_16. Come realizzare gli accessori per il funzionamento della tavola vibrante.



## COSTRUZIONE DEL CONTENITORE PER L'ESPERIMENTO SULLA LIQUEFAZIONE

Per costruire il contenitore per l'esperimento sulla liquefazione serve:

- polistirene estruso
- taglierino
- colla a caldo
- squadre

Si ritagliano due basi in polistirene estruso di dimensioni 24 x 18 cm. In uno dei due si rimuoverà un rettangolo interno di dimensioni 20 x 14 cm. Le due basi verranno poi incollate con colla a caldo come illustrato in Figura A1.2\_17.

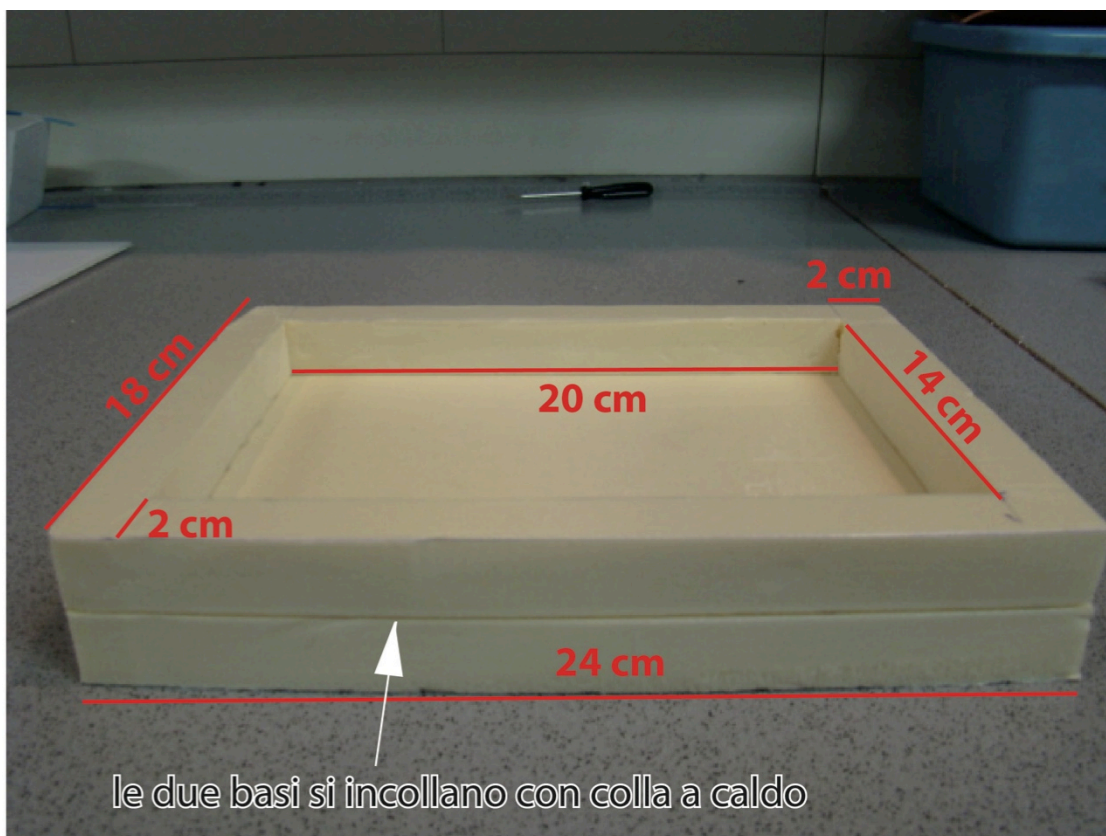


Figura A1.2\_17. Come realizzare il contenitore per l'esperimento sulla liquefazione (esperimento 2C a pag. 34).

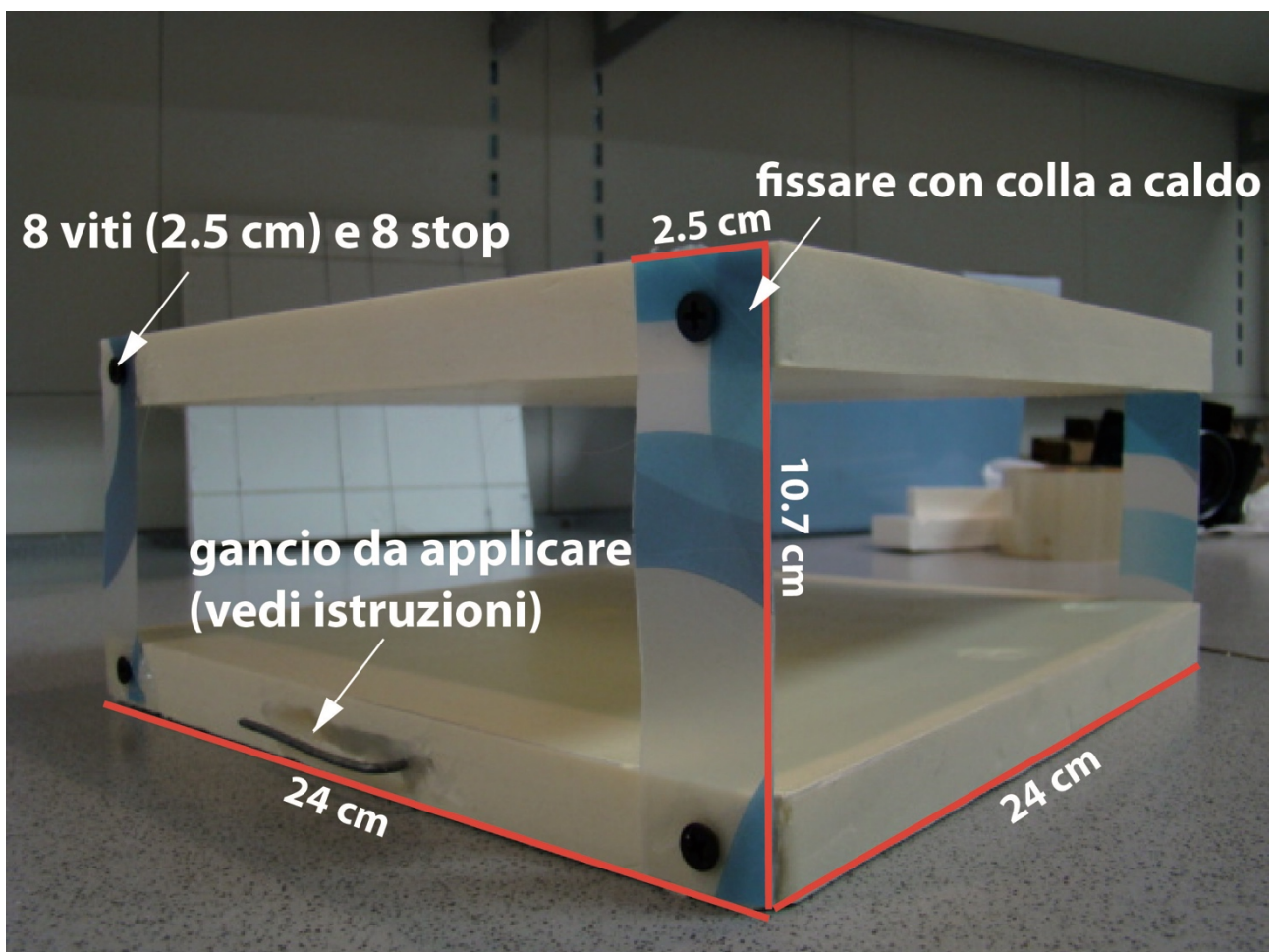
## MODULO PER L'ESPERIMENTO SUGLI EFFETTI DI SITO

Il modulo da costruire serve per simulare l'effetto della geologia del sottosuolo sullo scuotimento degli edifici (effetto di sito).

Per costruire questo accessorio serve:

- polistirene estruso
- plastica trasparente (la stessa usata per i muri degli edifici)
- fil di ferro
- viti 3.5 x 25 mm (e stop)
- taglierino
- colla a caldo
- squadre

Per la sua realizzazione attenersi alle indicazioni riportate in A1.2\_18.



*Figura A1.2\_18. Come realizzare il modulo per l'esperimento sull'effetto di sito indotto dalla geologia dei terreni sui quali si costruisce (esperimento 2B, pag. 32).*

## ACCESSORIO PER ESPERIMENTO SULL'ISOLAMENTO SISMICO

Per costruire questo accessorio serve:

- polistirene estruso
- tubo passafilo ( $\varnothing$  16 mm)
- taglierino
- colla a caldo
- squadre

Per la realizzazione riferirsi alle indicazioni riportate in Figura A1.2\_19. La scanalatura per i tubi passafilo ( $\varnothing$  16 mm) può essere fatta utilizzando una lima cilindrica bombata.

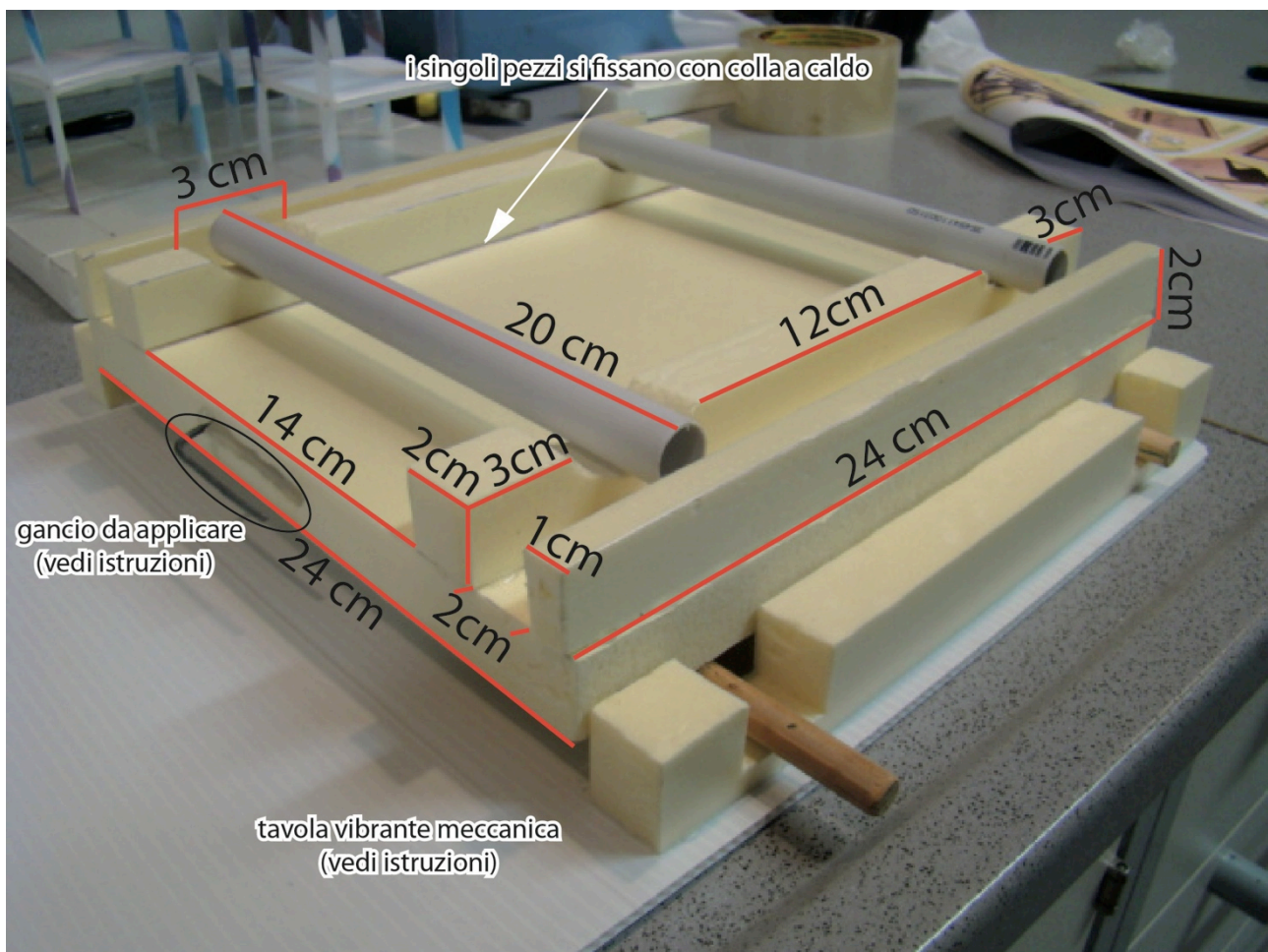


Figura A1.2\_19. Come realizzare l'accessorio per l'esperimento sull'isolamento sismico (2B.2, pag. 35).



## APPENDICE 2: COME 'RICOMPORRE' LA SISMO-BOX DOPO GLI ESPERIMENTI!

Nella sequenza di foto riportate di seguito sono illustrate le operazioni che si suggerisce di seguire al fine di riporre il materiale della SISMO-BOX in modo ordinato nella scatola.

