



Aldini Valeriani
ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE



TVB_LIN_2021

Tavola vibrante monodirezionale con motore lineare, 2021

Relazione illustrativa

Maggio 2022

Significato di alcuni acronimi presenti nel testo:

<i>pagina</i>	<i>acronimi</i>	<i>significato</i>
3	ARPAE-RES	Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente Emilia Romagna – Rete per l’Educazione alla Sostenibilità
	U.S.R.	Ufficio Scolastico Regionale
	P.C.T.O.	Percorsi per le Competenze Trasversali e l’Orientamento
4	G.N.D.T. – C.N.R.	Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – Consiglio Nazionale delle Ricerche
11	INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
	DPC	Dipartimento della Protezione Civile
12	R _{epi}	Distanza in km tra stazione accelerometrica ed epicentro
17	AT	Automazione

Introduzione

a cura del *Prof. Salvatore Grillo, dirigente scolastico*

L'Istituto di Istruzione Superiore (I.I.S.) "Aldini Valeriani" ha dato vita da circa dieci anni alla mostra-laboratorio, denominata "**IO NON TREMO! ... seguo il riccio!**", situata in spazi dedicati, quale possibile riferimento didattico-informativo – rivolto a classi di scuole secondarie e a gruppi di adulti – per favorire la conoscenza del fenomeno dei terremoti e per rendersi consapevoli del concetto di "rischio sismico" nella sua dimensione naturale, storica, tecnologica e sociale.

Conseguentemente l'I.I.S. "Aldini Valeriani", nel gennaio 2015, si è fatto promotore di un apposito "**accordo di rete**" tra scuole secondarie, rete denominata **RESISM**¹ rivolta alla riduzione del rischio sismico: dalla divulgazione delle conoscenze dei fenomeni sismici alla realizzazione e produzione di strumenti di laboratorio e di materiali didattici informativi.

Nella veste di istituto capofila della suddetta rete l'I.I.S. "Aldini Valeriani" ha anche sottoscritto nel 2018 appositi **protocolli d'intesa**, per la diffusione di conoscenza e consapevolezza della cittadinanza rispetto al rischio sismico:

- in Emilia-Romagna, con Agenzia regionale sicurezza territoriale protezione civile e ARPAE-RES²
- e in Basilicata, con l'Ufficio regionale protezione civile e l'Ufficio Scolastico Regionale³.

L'esperienza già svolta ha progressivamente evidenziato la necessità di aggiornare e potenziare l'offerta didattica: non solo come mostra multimediale (pannelli e filmati), ma anche come attività di laboratorio – attraverso l'utilizzo di tavole vibranti monodirezionali e semplici modelli strutturali – al fine di consentire una comprensione diretta, per quanto semplificata, di concetti didattico-informativi sui comportamenti dinamici degli edifici quando vengono sottoposti ad azioni sismiche.

Proprio per venire incontro alla necessità di potenziare l'attuale attrezzatura di laboratorio, è sorta nel 2020 l'idea del progetto – denominato **TVB_LIN_2021** – finalizzato a realizzare un nuovo prototipo di tavola vibrante con motore lineare per generare moti oscillatori anche complessi in unica direzione, con potenzialità (già sperimentate e prefigurate con il precedente prototipo **TVB_2019**) per l'analisi di singole componenti del moto sismico di forti terremoti recenti, grazie a caratteristiche meccaniche migliorate per attenuare fenomeni visco-elasto-dinamici dello stesso simulatore sismico.

Va poi sottolineato, tanto più dopo il negativo condizionamento all'attività scolastica dovuto alla lunga emergenza pandemica, il particolare significato sociale insito nella realizzazione e nell'utilizzo didattico che può venire potenziato con il nuovo prototipo:

- 1) per un'efficace attuazione della legge n. 92/2019 "*Introduzione dell'insegnamento dell'educazione civica*" che – tra le tematiche di riferimento (art. 3) – include la "*formazione di base in materia di protezione civile*" e quindi anche in funzione della prevenzione sismica,
- 2) per la definizione e per lo svolgimento di appositi P.C.T.O., sul tema della conoscenza e della riduzione del rischio sismico, da parte di classi del triennio delle scuole secondarie di secondo grado aderenti alla rete interregionale RESISM.

Non casualmente del resto, proprio al fine di meglio sostenere simili sviluppi didattici, si è ritenuto di implementare in tal senso il recente sito RESISM (<http://avbo.it/index.php/io-non-tremo/>) curato dall'I.I.S. "Aldini Valeriani", in raccordo con altri quattro siti – dedicati a iniziative e documenti della rete RESISM – rispettivamente curati da: I.I.S. "Copernico Carpeggiani" di Ferrara, U.S.R. per la Basilicata, ARPAE-RES e Associazione Meccanica.

¹ http://avbo.it/wp-content/uploads/2022/02/Download_1.pdf

² http://avbo.it/wp-content/uploads/2022/02/Download_4.pdf

³ http://avbo.it/wp-content/uploads/2022/02/Download_6.pdf

1 – Presentazione del progetto

a cura del responsabile del progetto **Prof. Mauro Fava**, docente di automazione, in collaborazione con il **Prof. Vincenzo Di Domenico**, docente di elettronica – I.I.S. “Aldini Valeriani” – e con l’**Ing. Giovanni Manieri**, collaboratore volontario della rete interregionale RESISM

1.1 – Le precedenti fasi realizzative



Derivato da idea sperimentata con lo strumento utilizzato negli anni ‘90 (TVB_1991) in ambito G.N.D.T.-C.N.R., il primo prototipo di tavola vibrante monodirezionale (TVB_2016) è stato realizzato durante l’a.s. 2015-2016 – grazie all’intervento esperto di docenti “storici” – nei laboratori dei dipartimenti di meccanica e di automazione dell’I.I.S. “Aldini-Valeriani”.



In sostanza il prototipo TVB_2016 si incentra su un motoriduttore che, alimentato da un motore asincrono trifase e controllato da inverter⁴, gestisce – con meccanismo biella-manovella – un semplice gruppo cinematico in grado di trasferire al piano di vincolo di modelli strutturali un moto armonico semplice di frequenza regolabile (attraverso un potenziometro). Un frequenzimetro mostra le frequenze del moto generato, con significativa efficacia didattica per l’attivazione delle risonanze e, quindi, con identificazione sperimentale delle frequenze proprie di modelli elementari a uno o più gradi di libertà.

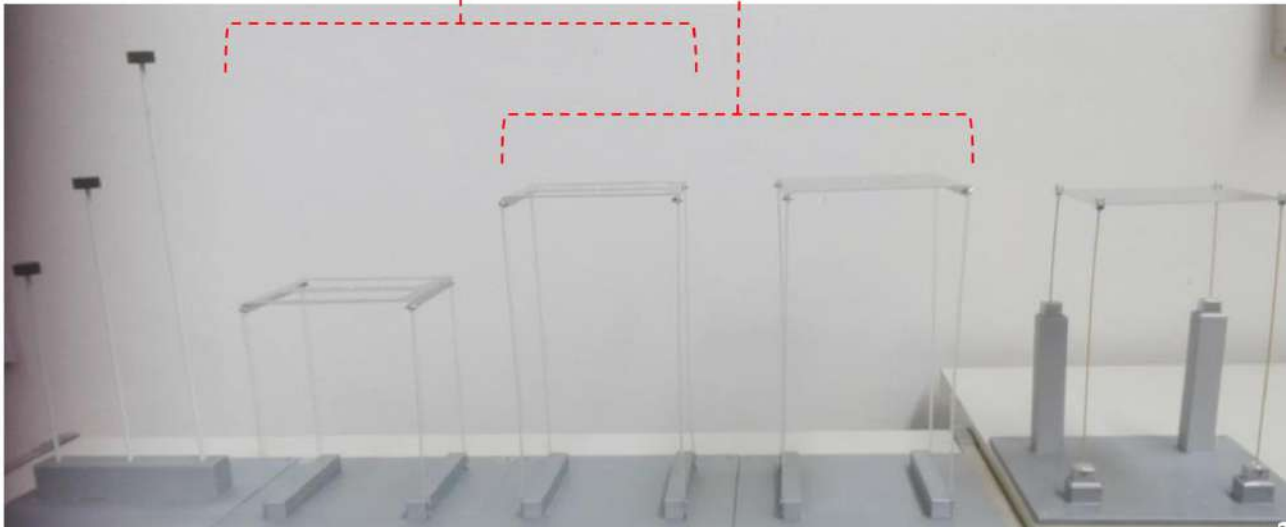
⁴ Dieci motori, completi di motoriduttori e inverter, furono resi disponibili -nel 2016 (con aggiunta di altri tre nel 2019 per Istituti RESISM di Rieti, Potenza e Moliterno-PZ)- dall’azienda *Bonfiglioli Riduttori S.p.A.* di Calderara di Reno-BO.

Modello composto da tre oscillatori semplici con massa concentrata su diversa altezza di colonne incastrate alla base

Modelli regolari a un piano con uguale rigidità e diversa massa di impalcato

Modelli regolari a un piano con diversa rigidità e ugual massa di impalcato

Modello a un piano con configurazione strutturale irregolare in pianta



n. 7 modelli strutturali attualmente in uso

Due modelli regolari a tre piani con rigidità paragonabili e masse diversificate

Per maggiori dettagli sono facilmente consultabili tre importanti documenti⁵ riconducibili a:

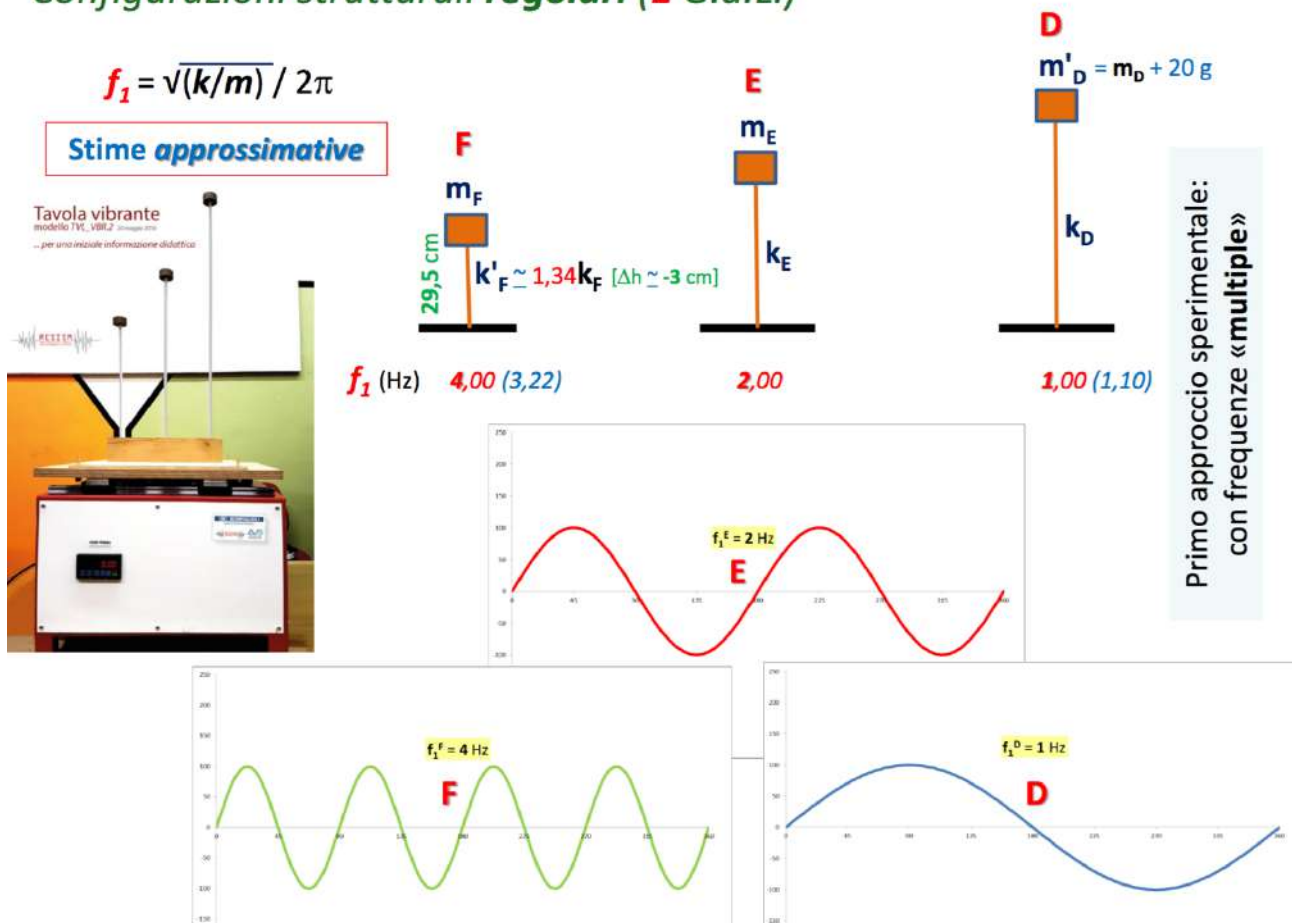
- TVB_1991 (*Tavola vibrante ... per una iniziale informazione didattica*, 2011, con video²⁰¹²⁶)
- TVB_2016 (*Manuale tecnico*, 2016)
- *Descrizione di modelli strutturali*, 2018.

Il prototipo TVB_2016, ristrutturato a fine 2021 nei componenti elettrici (& 1.3), al quale fece subito seguito la costruzione di nove esemplari resi disponibili – in comodato di uso gratuito – per l'utilizzo didattico da parte di diversi Istituti aderenti all'accordo di rete interregionale RESISM, rappresenta un apprezzabile strumento per solidità e perfezione meccanica, oltre che per la sua trasportabilità.

I limiti di TVB_2016 sono tuttavia legati alla sua struttura che consente di generare soltanto moti armonici semplici (MAS) con frequenze fino a circa 5 Hz, ma in modo disaccoppiato e senza possibilità operativa di loro sovrapposizione.

Si è quindi cominciato a valutare, già nel corso dell'a.s. 2016-2017, come spingere le potenzialità di nuovi prototipi verso lo studio di sistemi che consentano di generare anche moti complessi, ponendosi come primo obiettivo quello di sommare più moti armonici semplici con frequenze multiple (es. di 1–2–4 Hz), per potere evidenziare sperimentalmente che i moti oscillatori risultanti sono ancora periodici, con periodo centrato sull'armonica con frequenza minore, e comunque tali da suscitare contemporanee risonanze, ad es. in oscillatori elementari predisposti per quelle stesse frequenze. (Tale predisposizione può ad es. realizzarsi – tramite utilizzo di TVB_2016 – con calibrazioni di masse m o di rigidzze k al fine di identificare quei tre valori prefissati di frequenza, multipli tra loro).

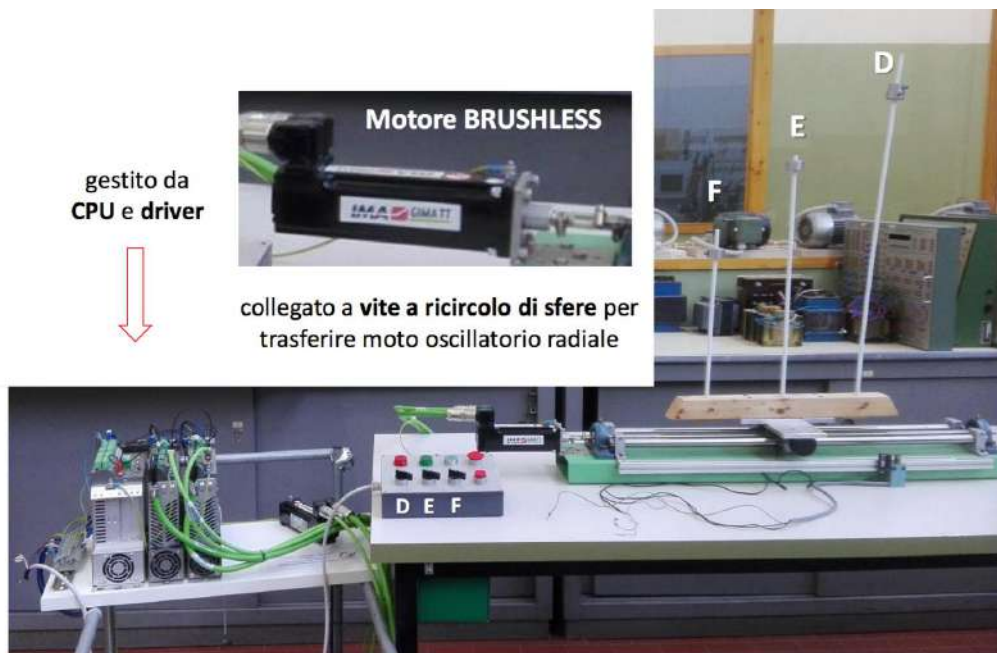
Configurazioni strutturali regolari (1 G.d.L.)



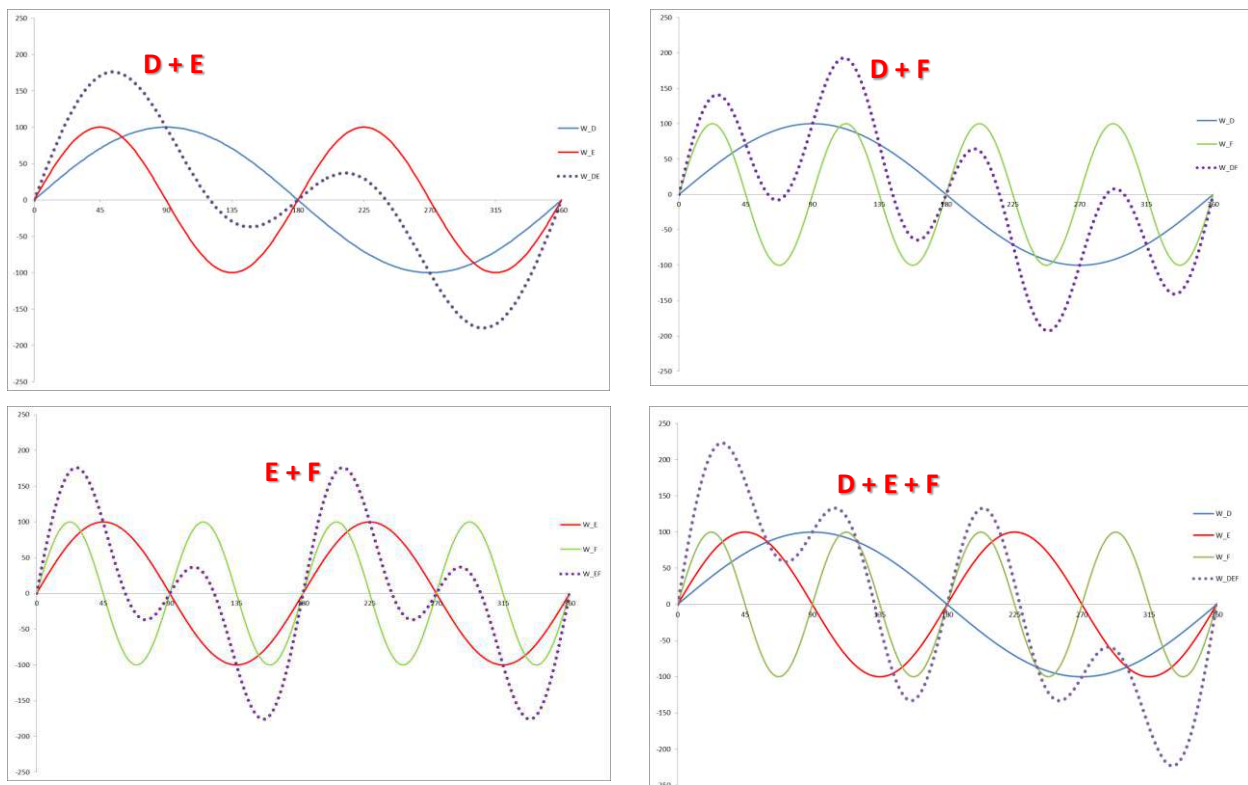
⁵ https://www.utsbasilicata.it/index.php?option=com_content&view=article&id=1897:materiale-didattico-tavola-vibrante&catid=616&Itemid=620

⁶ <https://youtu.be/c2sXS2PNI0I>

L'idea si è concretizzata, pervenendo al **prototipo 2017**, tramite primo progetto ideato da Alessandro Draghetti (allora studente dell'Aldini Valeriani, ora laureando in ingegneria) il quale, con utilizzo di un gruppo cinematico da tempo esistente in più esemplari nei laboratori del dipartimento di automazione e composto da un piano che può ricevere il moto da una vite a ricircolo di sfere, ne ha concepito la movimentazione attraverso un motore *brushless* rotativo gestito da tecnologia *Elau*.



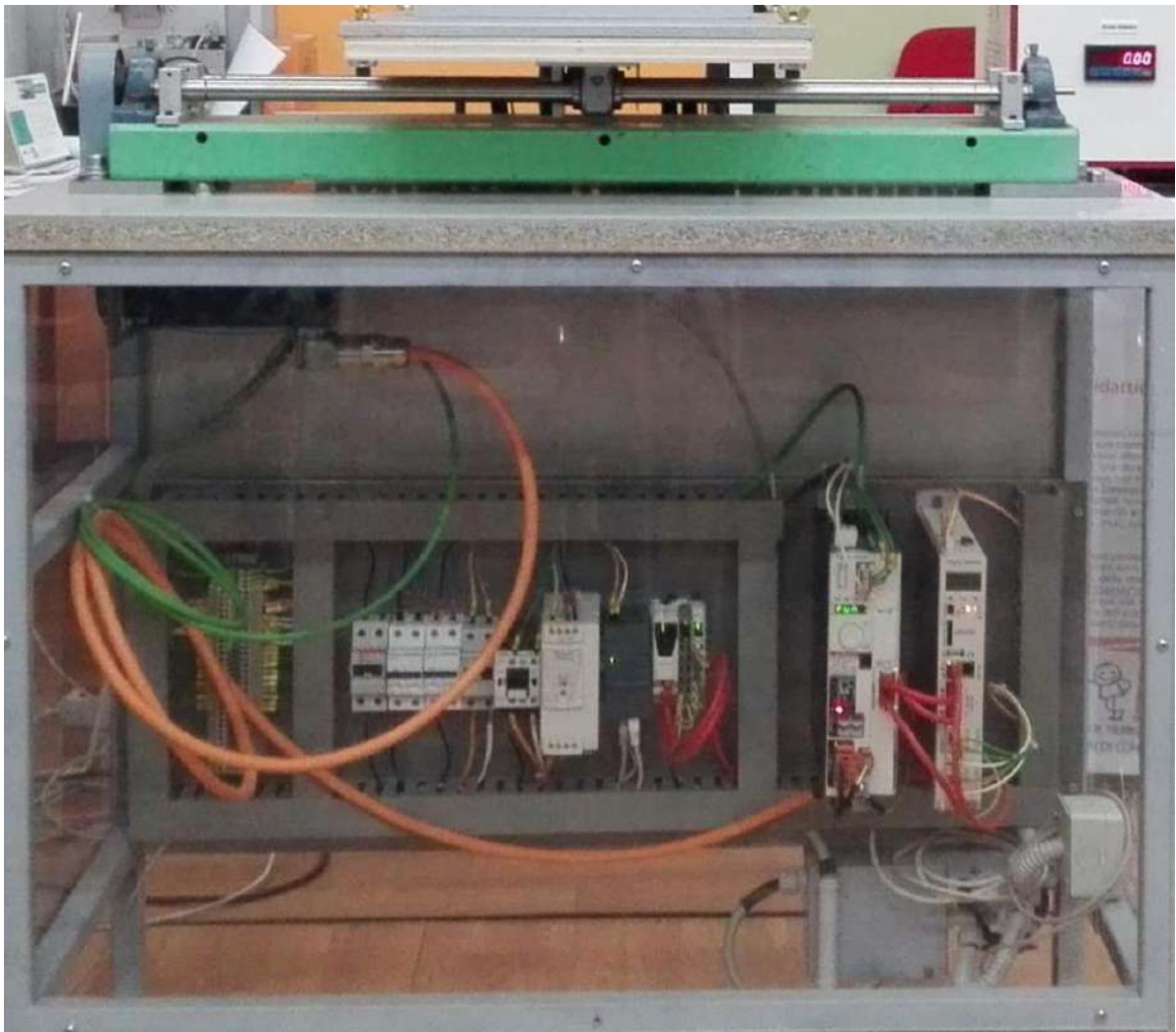
La sperimentazione didattica su tre oscillatori elementari, predisposti per potere manifestare risonanze con frequenze multiple (di 1 – 2 – 4 Hz), sollecitati *sia* da moti armonici semplici (MAS) di uguale ampiezza e con quelle frequenze, *sia* da quegli stessi MAS sommati però assieme secondo le loro quattro possibili combinazioni, ha dato allora e tuttora esprime ottimi risultati didattici (*video2017*⁷).



⁷ <https://youtu.be/j2zmubmrKYs>

La successiva ideazione della **TVB_2019**⁸ si è resa necessaria per potersi svincolare da predefiniti valori di ampiezza e frequenza di singoli moti armonici, al fine di determinare nuove condizioni operative per potere integrare i coefficienti relativi a frequenza e ampiezza per qualsiasi armonica e per un significativo numero di armoniche da trattare contestualmente.

La soluzione tecnologica trovata, utilizzando un altro esemplare dello stesso gruppo cinematico del prototipo 2017, ha concepito il progetto del moto ancora attraverso un motore *brushless* rotativo, controllato da un *driver LXM32* gestito da *PLC motion LMC078*, supervisionato da *HMIGTO3510*. Il sistema viene programmato con software *SoMachine* e la comunicazione fra controllore e driver-motore è garantita da *SERCOS III* (bus deterministico performante). In particolare, al fine di potere consentire la regolazione di frequenza e ampiezza di una singola armonica, la macchina è dotata di un dispositivo capace di regolare in tempo reale questi due parametri: ciò consente la ricerca delle frequenze di risonanza in qualsiasi modello strutturale senza dovere determinarne a priori i valori.



Ma le potenzialità della TVB_2019 vanno anche oltre le caratteristiche sopra descritte potendo recepire e analizzare la ricostruzione di accelerogrammi reali di forti terremoti recenti. Tale concreta potenzialità è stata studiata e confermata dall'ing. J. A. Draghetti con la sua tesi di laurea triennale (dicembre 2019) implementando un apposito software che consente al prototipo TVB_2019 di riprodurre fedelmente, o in forma scalata per le ampiezze, segnali accelerometrici di forti terremoti recenti (es. scosse principali delle crisi sismiche del 2012 in Emilia e del 2016 in Italia Centrale).⁹

⁸ <https://www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it/primopiano/prevenzione-sismica-tavole-vibranti-didattiche-per-le-scuole-della-rete-resism>

⁹ <https://www.utsbasilicata.it/allegati/RESISM/tavola2020.pdf>

1.2 – Il prototipo TVB_LIN_2021

Caratteristiche del nuovo sistema di attuazione del moto

Il prototipo **TVB_LIN_2021** rappresenta sul piano dell'innovazione tecnologica una proposta degna di significativo interesse soprattutto per un ordine scolastico medio come quello dell'I.I.S. "Aldini Valeriani" e di altri Istituti aderenti alla rete RESISM. Infatti, benché il progetto – per gli obiettivi didattici che intendeva raggiungere e che ha raggiunto – non costituisca una modifica significativa rispetto a TVB_2019, invece sul piano specifico delle scelte tecniche (soprattutto quelle relative all'attuazione del moto con *motore lineare* e non più con motore brushless rotativo) rappresenta un salto qualitativo straordinario. La compattezza e le prestazioni meccaniche migliorate (rispetto al prototipo TVB_2019) rendono poi il nuovo kit didattico di particolare interesse sperimentale nella generazione di moti complessi e quindi anche nella potenzialità di attuazione ed elaborazione di interi episodi sismici.

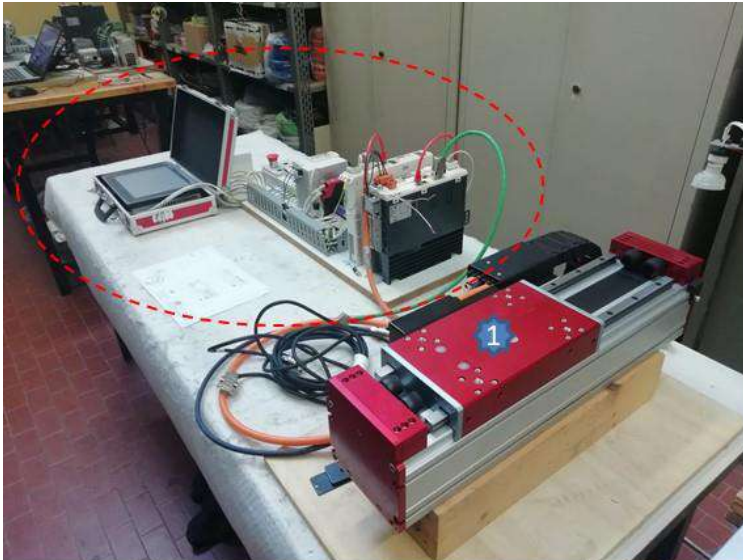
L'utilizzazione del motore lineare *Hiron Core* (a corsa +/- 80 mm)¹⁰ ha permesso di unire la slitta e il motore in un unico elemento rendendo compatto il monoblocco di attuazione del moto.

Per quanto riguarda invece il controllore del processo e il driver le soluzioni adottate non sono sostanzialmente dissimili da quelle che stanno alla base del prototipo TVB_2019. Si è utilizzato dunque un *PLC motion (LMC078)* in *SERCOS III* (bus deterministico) e un *driver LXM32S* per la gestione in potenza del motore, pur nell'esigenza di studio affrontato con realizzazione di apposito software per l'ottimizzazione del nuovo sistema di attuazione del moto con l'automatismo di comando e controllo dello stesso moto.

A seguire viene fornita una descrizione sommaria del progetto che è stato realizzato. La linea guida è ovviamente centrata sul preesistente prototipo a cui il nuovo è ispirato.

¹⁰ Tale scelta è stata guidata dal Per. Ind. Vladimiro Pasquini, diplomato 1972 in "Aldini Valeriani", perito meccanico di lunga esperienza professionale nella progettazione e realizzazione di macchine, collaboratore volontario della rete interregionale RESISM tra scuole secondarie.

LA STRUTTURA DELLA MACCHINA



TVB_LIN_2021

1 MOTORE LINEARE <MOTOR POWER>
+ ENCODER (INTERNO)

- 2 PLC MOTION <LMC 078>
- 3 MOTOR DRIVER <LXM 32>
- 4 ALIMENTATORE *switching*
- 5 MODULO SICUREZZA
- 6 FUNGO EMERGENZA
- 7 HMI (*pannello operatore touch screen*)
- 8 PROTEZIONE E SEZIONAMENTO



La macchina è formata da un gruppo cinematico lineare con caratteristiche del motore dimensionate sia in relazione agli standard commerciali che alle caratteristiche dei modelli.

Il gruppo cinematico è stato assicurato ad una struttura elettrosaldata dotata di opportuni smorzatori.



Il quadro contenente tutte le apparecchiature di comando e controllo (escluso l'HMI) è stato ricavato da una valigetta demo in vetroresina, dotata di 4 connettori per l'alimentazione e la comunicazione con valigetta HMI e PC.

Nella seconda valigetta trovano sede un *fungo* di emergenza *premi e ruota* e un *pannello operatore HMI touch screen*.

Il dialogo fra motore e sistema di controllo è garantito dal *bus* di tipo deterministico *Sercos III*.

L'alimentazione della macchina è monofase 230V-50Hz.

IL PANNELLO HMI E LE MODALITÀ OPERATIVE

Il pannello *HMI* è il dispositivo di interfaccia *touch screen* con cui, attraverso opportuni pannelli programmabili, è possibile interagire con la macchina.

Nei vari pannelli si trovano i pulsanti *marcia/arresto*, il pulsante di *reset* (in caso di ripristino a causa di blocchi o di anomalie), un pulsante di *homing*.

Un'altra coppia di pulsanti permette di accedere alle due seguenti *modalità* operative:

1. *Multi Wave*
2. *Earthquakes*.

La prima modalità consente di creare combinazioni lineari di contributi armonici semplici e il relativo pannello permette di impostare frequenza e ampiezza dei singoli contributi.

La seconda modalità consente la riproduzione di singole componenti di terremoti reali, in eventuali forme scalate per le ampiezze.

RIPRODUZIONE DI SEGNALI ACCELEROMETRICI DI FORTI TERREMOTI RECENTI

Entrando nella modalità *esecuzione di terremoti reali* è possibile accedere ad un data base dal quale si potrà selezionare l'evento da simulare. Un simile data base è già stato avviato con TVB_2019, oltre che sperimentato positivamente¹¹ per due forti terremoti recenti prelevando per ciascuno di essi i dati relativi alle tre componenti del moto sismico (nord-sud, est-ovest e verticale) dal sito "INGV Itaca" (http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_30/#/home) dove sono archiviate registrazioni accelerometriche, in particolare quelle rilevate da stazioni della RAN - Rete Accelerometrica Nazionale (<http://ran.protezionecivile.it/>) gestite dal Servizio Rischio Sismico del DPC.

Con TVB_LIN_2021, oltre a recepire dal sito "INGV Itaca" storie sismiche in spostamenti relativi per terremoti di interesse, si intende anche sperimentare la possibilità di aggiungere nel data base le registrazioni di terremoti "di giornata", scaricando le relative componenti direttamente dal sito RAN (che fornisce accelerogrammi di eventi sismici in tempo quasi reale) per importare i relativi dati – attraverso una chiavetta USB – nel PLC opportunamente predisposto per un'elaborazione automatica degli stessi, così da permettere entro breve tempo una simulazione del terremoto appena avvenuto.

Tuttavia sarà necessario fornire all'azionamento elettrico dati espressi in termini di spostamenti e non di accelerazioni. Pertanto, attraverso una porzione di codice scritta nel PLC, verranno integrate numericamente le registrazioni accelerometriche ottenendo in tal modo la traiettoria di posizione corrispondente allo spostamento del terreno durante l'evento sismico.

A seguito di ogni integrazione numerica sarà comunque necessario applicare al segnale un filtro passa-banda, rimuovendo così le componenti a bassa e alta frequenza.

¹¹ Vedi documento.pdf di cui alla nota 9.

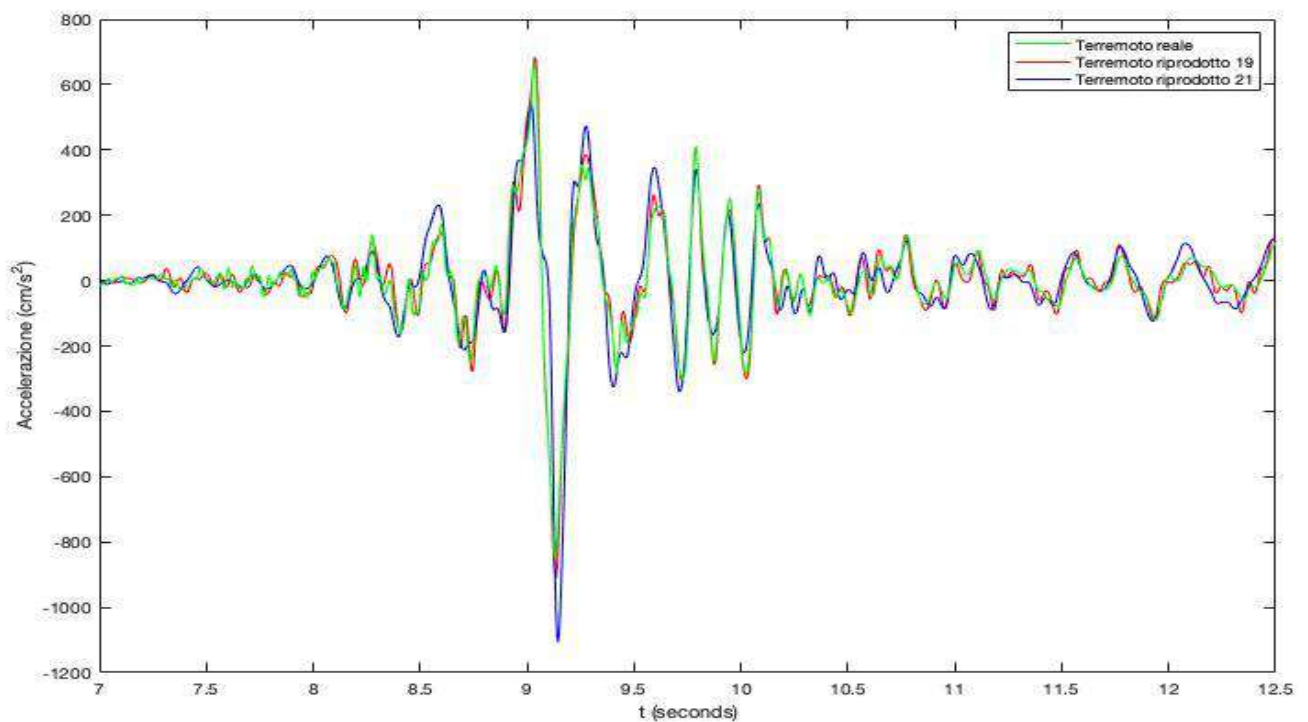
Per garantire la corretta esecuzione temporale del tracciato sismico, il PLC, ad ogni fronte del segnale di sincronizzazione della rete SERCOS III (che avviene rigorosamente ogni ms), invierà il relativo valore di spostamento all'azionamento elettrico che si porterà alla destinazione desiderata entro i vincoli temporali definiti.

Le prove che sono state effettuate sulle macchine hanno evidenziato ottimi risultati in termini di risoluzione degli eventi sismici simulati. Ogni macchina ha le sue caratteristiche.

La TVB_2019 presenta una risposta in frequenza composta da due spettri, uno a bassa frequenza corrispondente a quello dell'evento sismico ed uno ad alta frequenza (tra i 40Hz e i 60Hz) dovuto a fenomeni meccanici. Questi disturbi ad alta frequenza sono trascurabili in quanto non influiscono sul comportamento dinamico dei modelli posti sul carrello.

Invece la macchina TVB_LIN_2021 -grazie all'assenza di organi meccanici- non presenta disturbi di natura meccanica. Il suo spettro coincide con quello relativo all'evento sismico a meno di qualche piccola divergenza.

Di seguito viene riportata un'immagine che mette a confronto l'accelerogramma di uno stesso terremoto, simulato su ciascuna delle due macchine (TVB_2019 e TVB_LIN_2021), con un evento reale, identificato -per la circostanza- con la componente E-W del sisma 24/08/2016 3:36:32 – ora locale, come registrata nella stazione AMT di Amatrice con $R_{epi} \approx 10$ km.



1.3 – Riprogetto-ristrutturazione del prototipo TVB_2016

Senza alcuna modifica dei componenti meccanici e della struttura elettrosaldada di contenimento, a inizio dell'a.s. 2021-2022 si è anche maturata la convinzione di procedere al riprogetto-ristrutturazione dei componenti elettrici del prototipo TVB_2016 per una maggiore fruibilità didattica e per alcuni motivi funzionali:

1. migliorare la visibilità della frequenza del piano oscillante, grazie al grande display touch screen posizionato frontalmente,
2. garantire una maggiore semplicità d'uso per l'operatore tramite l'utilizzo di tasti funzione quali scorciatoie con supporto di retroazione che stabilizza il piano alla frequenza desiderata.

Ad ottobre 2021 sono quindi cominciati i primi cablaggi della macchina a banco pervenendo alla seguente disposizione:



1 MOTORE ASINCRONO TRIFASE
+ MOTORIDUTTORE

2 ENCODER <1000 PPR>

3 INVERTER <ALTIVAR>

4 ALIMENTATORE

5 PLC <TM 241> Controllore Logica Programmabile

6 SWITCH ETHERNET

7 HMI (*pannello operatore touch s.*)

8 PROTEZIONE E
SEZIONAMENTO

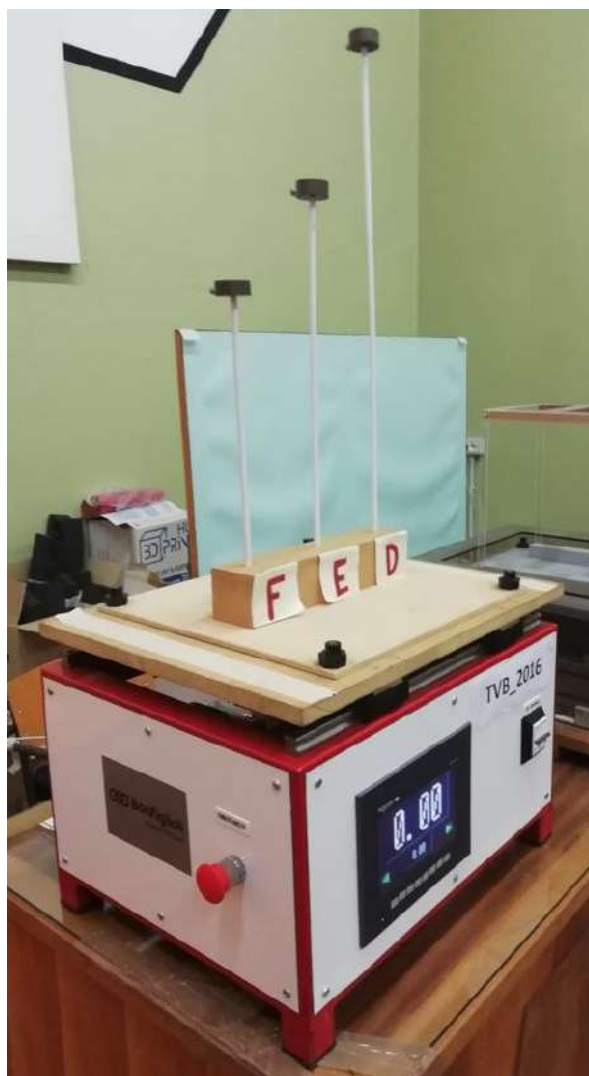
Posizionamento e montaggio dei nuovi componenti elettrici nella preesistente struttura

In precedenza, come componentistica elettronica, era presente solamente un inverter, controllato da un potenziometro -per regolare la velocità del motore- e un piccolo display a segmenti.

Si è perciò proceduto a cambiare l'intero azionamento, introducendo:

- un controllore PLC, che rende possibile un'elasticità a livello software e hardware;
- un nuovo *inverter*, più efficiente e in grado di comunicare direttamente col PLC;
- un alimentatore *switching* AC/DC (230V/24V);
- un modulo di sicurezza;
- un *encoder* da 1000 PPR, per garantire la stabilità del valore di frequenza al piano rispetto a quello programmato;
- un HMI, *pannello operatore touch screen* da 7 pollici, per facilitare una maggiore semplicità d'uso da parte dell'operatore e una migliore visibilità -anche a distanza- dei valori di frequenza.

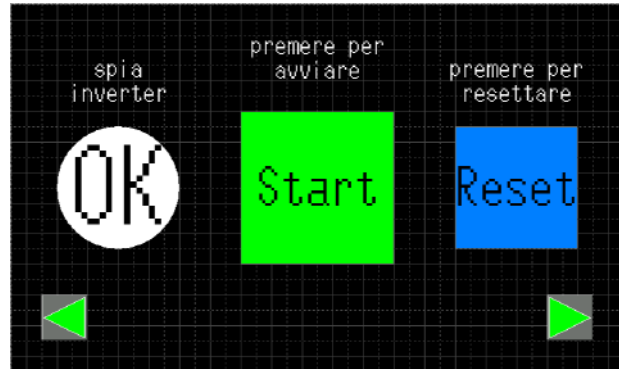
Dopo un opportuno studio di fattibilità e successivo cablaggio a banco, si è iniziato a spostare l'azionamento all'interno del telaio della macchina.



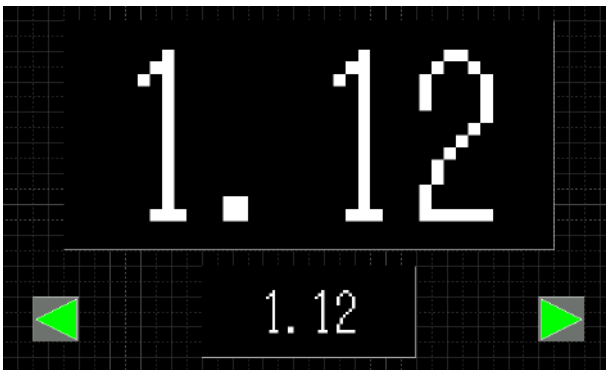
Impostazione HMI



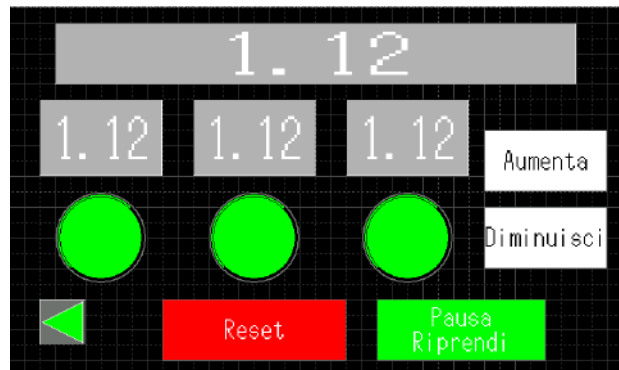
Schermata iniziale: presenta la macchina con relativi loghi e QR CODE per accedere a *realtà aumentata*.



Seconda pagina, contiene il pulsante START/STOP e la spia dell'inverter con relativo tasto per il *reset*.



Nella terza pagina è possibile visualizzare in modo grande e chiaro la frequenza al piano. Cliccando nel riquadro più piccolo sottostante, comparirà un tastierino numerico con cui impostare una frequenza di oscillazione.



Nella quarta pagina è presente la funzione *Sweep* in frequenza: permette di far salire o scendere in modo lineare la frequenza al piano. È inoltre possibile, tramite i tasti verdi, salvare la frequenza corrente di oscillazione.



I tasti funzione HMI, da F1 a F8, sono abilitati a scorciatoie utili per facilitare l'uso della macchina. Es. F1, F2, F3 possono essere programmati su valori (in Hz a due cifre decimali) delle frequenze di risonanza di oscillatori elementari a *1 grado di libertà (1 G.d.L.)*. Così come F4, F5, F6 possono essere programmati per frequenze di risonanza dei primi *tre modi di vibrare* di modelli con più G.d.L.. F7 ed F8 identificano invece "start" e "stop" dello *sweep* in frequenza.

Realtà aumentata

Durante il mese di P.C.T.O. lo studente Andrea Mazzoli, già esperto nella specifica tecnica operativa, ha anche effettuato il rilievo della macchina in modo da creare una lezione 3D interattiva e di facile comprensione, anche ai meno esperti in materia.

Di seguito è riprodotto il QR CODE per accedere alla lezione sull'applicazione *EON-REALITY*¹².



MACCHINA DEL TERREMOTO

Per ulteriori riferimenti si ricorda che -nella circostanza di ultimo Open Day (18-12-2021) dell'I.I.S. "Aldini Valeriani"- è stata presentata una prima illustrazione del riprogetto del prototipo TVB_2016.

[Vedi link <https://youtu.be/VaYgnJ0W8bc>]

Va infine evidenziato che l'esperienza compiuta si pone come ovvio possibile riferimento per eventuali riprogetti anche degli altri n. 12 esemplari di TVB_2016, già utilizzati da diversi anni in altre scuole secondarie della rete interregionale RESISM e nei relativi territori, trattandosi – come noto – di esemplari a suo tempo derivati dallo stesso prototipo TVB_2016, ora ristrutturato.

¹² Il video interattivo -in realtà aumentata- è visionabile anche dal link: <https://share.eon-xr.com/lesson/270/317706>.

2 – Riflessioni conclusive su come si è cooperato nel dipartimento di automazione – tramite P.C.T.O. – tra il docente responsabile del progetto e alcuni studenti delle classi di 5A AT e di 4A AT

Si è scelto il P.C.T.O. come strumento privilegiato per la costruzione del prototipo TVB_LIN_2021. Il progetto nasce già nel mese di maggio 2021 grazie alla stretta collaborazione con Tommaso Montanari, allora studente di 4A AT, quando inizia lo studio preliminare della struttura di controllo e la produzione dei primi schemi elettrici. Nell'estate 2021 sono quindi cominciati i primi cablaggi della macchina a banco.

In questa fase si consolida la proposta come scuola, di poter gestire la parte intensiva di costruzione della macchina utilizzando il P.C.T.O. interno. Assieme a Tommaso, ormai diventato studente di 5A AT, la proposta viene estesa ad altri due studenti della stessa classe -Andrea Mazzoli e Giacomo Marzolini- per potere realizzare la contestuale ristrutturazione del prototipo TVB_2016. A seguire altri tre studenti della classe 4A AT -rispettivamente Riccardo Evangelisti, Matteo Ricci e Mattia Spadoni- sono stati coinvolti sia per questi che per altri progetti in essere.

Escludendo da tale disamina le fasi preliminari (studio di fattibilità e progetto esecutivo), precedenti al mese di P.C.T.O., si possono elencare le fasi operative della costruzione del prototipo TVB_LIN_2021 nei successivi punti, sottolineando che le medesime sono state affidate -dopo adeguato addestramento- interamente agli studenti riconoscendo loro ampia e doverosa fiducia, consentendo altresì loro -quando possibile- anche il diritto all'errore:

1. Esecuzione dei cablaggi a banco per le prime prove e la parametrizzazione del sistema di controllo verso il motore.
2. Realizzazione di un primo stralcio di programma per il controllo innanzitutto di un profilo sinusoidale e -a seguire- di una combinazione lineare di n-armoniche.
3. Ottimizzazione del programma e dell'interfaccia grafica (HMI) per l'implementazione di una prima collezione di spostamenti relativi corrispondenti a recenti forti terremoti.
4. Studi di calcolo numerico (con la gentile collaborazione del Prof. Francesco Bottacin dell'Università di Padova- dip. matematica) e successiva implementazione dei rispettivi algoritmi all'interno del programma necessari per ricavare "in automatico" gli spostamenti relativi a partire da accelerogrammi registrati per nuovi eventi sismici.
5. Predisposizione del contenitore dell'equipaggiamento elettrico della macchina, ricavato da una valigia demo donata a suo tempo alla scuola dalla ditta REXEL. Il contenitore è stato adattato implementando una piastra di fondo sagomata alla quale sono stati assicurati e assiemati tutti i dispositivi di cui al punto 1.
6. Predisposizione di un secondo contenitore (valigetta) per il pannello operatore touch screen.

7. Cablaggi eseguiti ad opera d'arte e primi collaudi a banco.
8. Predisposizione dei sistemi di connessione opportunamente ricavati con relative opere di scasso dei due contenitori e realizzazione dei cavi di connessione adeguatamente attestati ai rispettivi connettori.
9. Progetto e realizzazione della struttura metallica elettrosaldata per assicurare il motore lineare con opportuni antivibranti e collaudi in opera.
10. Misure accelerometriche finali per la verifica della corrispondenza tra i rilievi e i moti generati dalla macchina.

Le attività sono state integrate da fasi di confronto con le aziende che hanno fornito sia il materiale che la necessaria assistenza tecnica nelle fasi più critiche relative alla configurazione del sistema, in particolare per la parametrizzazione del sistema di azionamento rispetto al motore.

Le aziende sono state rispettivamente REXEL Bologna e SCHNEIDER Italia.

In conclusione questa attività ha fornito agli studenti coinvolti un'opportunità unica di operosità concreta e di non trascurabile spessore tecnico. Si sono poi stabiliti sul piano umano relazioni solide sia tra gli studenti che con il docente.

Il percorso è stato portato a termine in modo efficace nel rispetto dei tempi previsti mettendo in evidenza che la scuola può essere fonte di conoscenza tecnica di altissima qualità e preme ancora sottolineare il valore sociale intrinseco di questo tipo di progettualità come peraltro richiamato nella introduzione al presente documento da parte del dirigente scolastico prof. Salvatore Grillo che ha costantemente seguito e incoraggiato l'avanzamento dei lavori verso il risultato finale.