



Ricerca di Sistema elettrico

Progettazione di un banco Hardware in the Loop per sistemi PTO

G. Bracco, E. Giorcelli, G. Mattiazzo, N. Pozzi, A. Fontanella, E.
Giovannini, A. Carillo, G Sannino



PROGETTAZIONE DI UN BANCO HARDWARE IN THE LOOP PER SISTEMI PTO

G. Bracco, E. Giorcelli, G. Mattiazzo, N. Pozzi (Politecnico di Torino)
A. Fontanella, E. Giovannini, A. Carillo, G. Sannino (ENEA)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio

Progetto: B.1.5 ENERGIA ELETTRICA DAL MARE

Obiettivo: Progettazione di un sistema full scale (denominato PEWEC) per la produzione di energia da moto ondoso (e)

Responsabile del Progetto: G. Sannino (ENEA)

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Progettazione di un sistema full scale (denominato PEWEC) per la produzione di energia da moto ondoso"

Responsabile scientifico ENEA: G. Sannino

Responsabile scientifico G. Mattiazzo (Politecnico di Torino)

Indice

SOMMARIO.....	4
1 PROGETTAZIONE DEL BANCO	5
1.1 INTRODUZIONE	5
1.2 OBIETTIVI TECNICI.....	5
1.3 METODOLOGIA CONCETTUALE	6
1.4 TECNICA HARDWARE IN THE LOOP (HIL)	7
1.5 LAYOUT FISICO DEL BANCO	11
1.6 SPECIFICHE DEI COMPONENTI.....	12
1.7 SEGNALI ACQUISITI	13
1.8 CONCLUSIONI	14
2 APPENDICE	15
2.1 DISEGNI TECNICI	15
2.2 STORIE TEMPORALI.....	28

Sommario

Nel presente report si mostra la metodologia di progettazione del banco prova Hardware in the loop per il test del sistema PTO del Pewec.

Le tecniche Hil permettono di introdurre un componente fisico (PTO) in un loop di simulazione numerica, in questo caso il modello dinamico del convertitore Pewec validato in scala 1:50 e 1:12 e utilizzato per la progettazione del sistema full-scale. In questo modo qualunque variazione del comportamento del PTO rispetto alla sua modellazione matematica può essere apprezzato e valutate le sue ripercussioni sul sistema globale, simulando anche casi di guasto.

Di seguito viene effettuata la progettazione, individuandone il layout e i suoi componenti.

1 Progettazione del banco

1.1 Introduzione

Si vuole realizzare il banco prova per la caratterizzazione sperimentale del generatore elettrico del sistema di conversione di energia (PTO) del PeWEC full-scale.

Lo scopo di questa operazione è quella di ottenere una piena conoscenza del comportamento della macchina elettrica e dunque dei suoi limiti di funzionamento e di efficienza.

1.2 Obiettivi tecnici

La procedura di caratterizzazione della macchina elettrica accoppiata al driver di controllo ha lo scopo di ottenere i seguenti risultati:

- La caratteristica coppia-velocità;
- La curva di rendimento in funzione della coppia e della velocità angolare;
- La curva di rendimento della macchina elettrica in funzione della condizione di raffreddamento;
- La caratterizzazione del declassamento automatico della macchina elettrica al variare delle condizioni di sovraccarico (coppia e velocità);
- La caratterizzazione del tempo necessario per il ritorno in condizioni di funzionamento non declassate;
- Il tuning dei guadagni relativi ai sensori di monitoraggio della tensione e della corrente del generatore (queste grandezze sono legate ai segnali di feedback per il controllo PTO);
- I consumi dei driver di potenza e dei sistemi ausiliari, principalmente quello di raffreddamento.
- Tramite l'utilizzo delle tecniche Hardware in the loop descritte di seguito si individueranno:
 - o Validazione del modello del PTO e del suo anello di controllo;
 - o Capacità di produzione di potenza in regime di sovraccarico in relazione alla controllabilità del sistema;
 - o Reazione del sistema PeWec alle condizioni di guasto del PTO e sviluppo di logiche adeguate;
 - o Analisi delle condizioni nell'intorno di quelle di progetto e in condizioni estreme (massa del pendolo, zavorramento dello scafo)

1.3 Metodologia concettuale

Dal Report “Metodologia progettuale di un sistema di produzione di energia da moto ondoso” si sono valutate le caratteristiche del sistema PTO che il convertitore Pewec full scale deve ottemperare, principalmente sintetizzabili come segue:

- ✓ Coppia Nominale 3.5 kNm
- ✓ Velocità Nominale 300 rpm

Per forzare tale sistema oltre i propri limiti di coppia e velocità è necessario utilizzare un sistema di azionamento di taglia maggiore. Dato che tale azionamento non sarà riutilizzato nel progetto e nell’ottica di riduzione costi, si può procedere diversamente, rimuovendo tale componente.

Si decide di dividere il PTO in due sottosistemi, in grado di fornire 2 e 1.5 kNm ciascuno, per un totale di 3.5 come da specifica. Il sottosistema a taglia maggiore (MOTORE) forzerà quello a taglia minore (PTO) oltre i suoi limiti di funzionamento, come da specifica richiesta. Se i due sottosistemi appartengono alla stessa famiglia di prodotto, i risultati ottenuti sul sottosistema a taglia minore possono essere estrapolati su quello a taglia maggiore, validando quindi il campo di funzionamento globale del PTO. Segue lo schema globale del banco di prova.

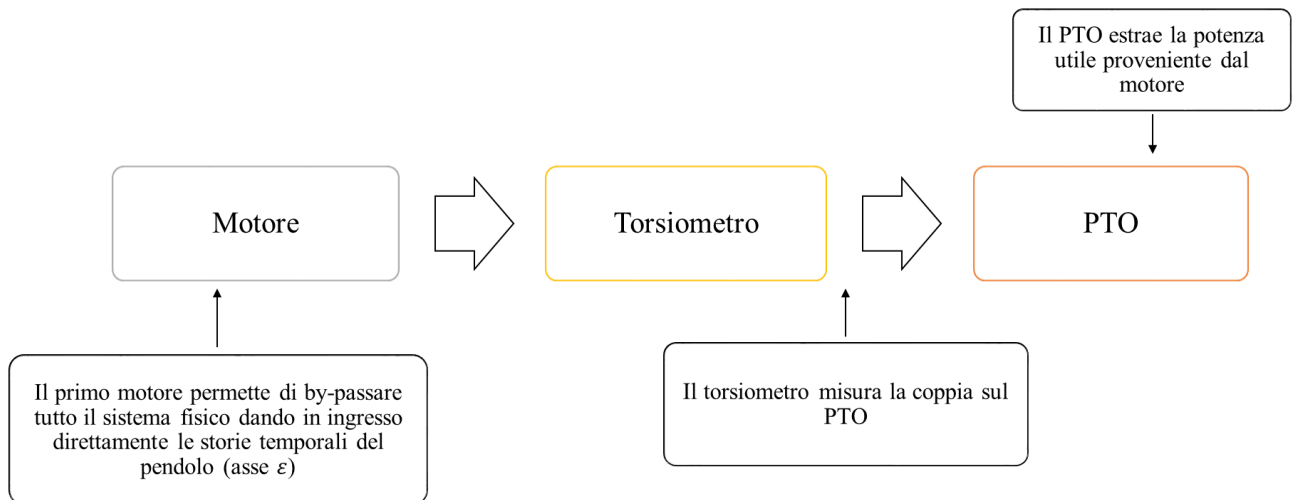


Figura 1: Schema concettuale banco prova.

Nel caso in cui si desiderasse sovraccaricare il PTO non solo dal punto di vista della coppia, ma anche dal punto di vista della velocità, è necessario interporre un moltiplicatore di velocità fra il Motore e PTO, come dal seguente schema.

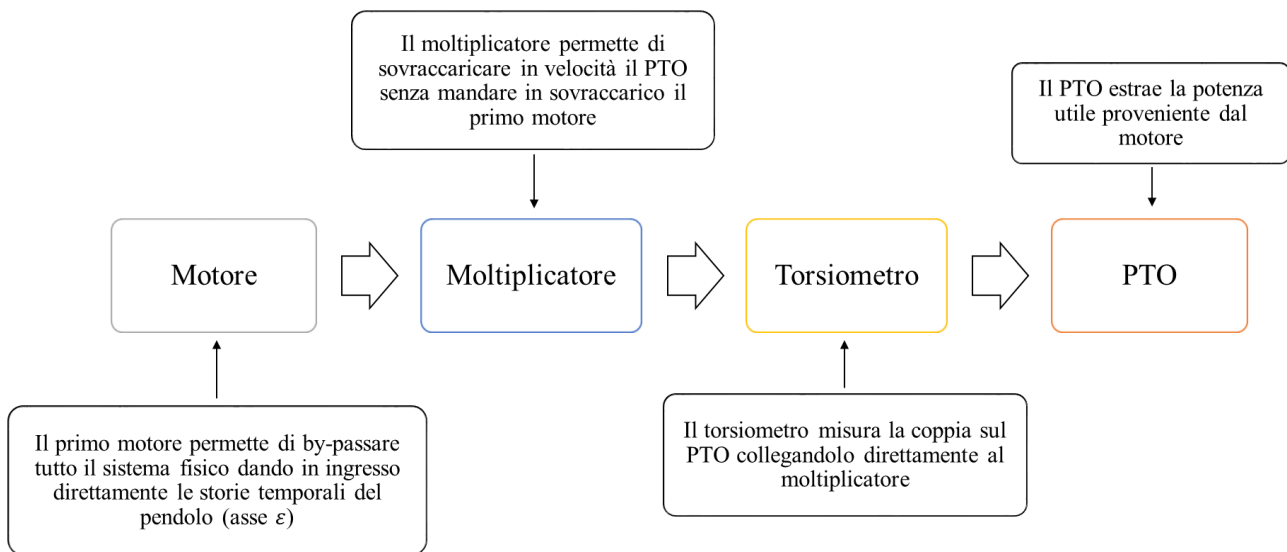


Figura 2: Schema concettuale banco prova (con moltiplicatore).

E' importante notare che dato che nell'utilizzo in mare si prevede di utilizzare il PTO in condizioni di sovraccarico controllato, si ipotizza di utilizzare motori coppia raffreddati a liquido, per poter avere maggiore margine di utilizzo (tempo di permanenza e tempo di ritorno in condizioni standard) nella zona di sovraccarico, a parità di taglia del PTO.

Nel banco quindi il circuito di raffreddamento dei motori sarà simulato (fisicamente o numericamente), al fine di valutarne le perdite energetiche indotte.

Il banco è rigenerativo, in quanto la potenza utilizzata per azionare il PTO è recuperata, a meno dei rendimenti, dal PTO stesso che la trasferisce al bus dc. L'alimentatore del banco deve quindi fornire unicamente le perdite associate ai rendimenti dei componenti e ai consumi di base.

1.4 Tecnica Hardware In the Loop (HIL)

In ottica di riprodurre fedelmente le storie di carico che il PTO dovrà mantenere durante il funzionamento reale, si decide di introdurre il banco in un sistema Hardware In the Loop (HIL). La tecnica HIL è molto utile per ridurre tempi e costi di sviluppo e prototipazione di sistemi fisici. Questo metodo consiste nell'accoppiare parti reali del sistema che si andrà a realizzare con modellazione numeriche in modo tale da simulare il reale comportamento del sistema senza doverlo realizzare interamente. La complessità del banco prova è funzione di quanto la simulazione deve essere fedele alla realtà.

Nella nostra applicazione è sicuramente troppo oneroso realizzare l'intero dispositivo (anche in scala) per testare solamente il PTO. Si provvede quindi a simulare il moto del pendolo mediante un motore che

riproduce coppia e velocità a cui è soggetto il pendolo reale andando quindi a forzare il PTO a diversi regimi di funzionamento.

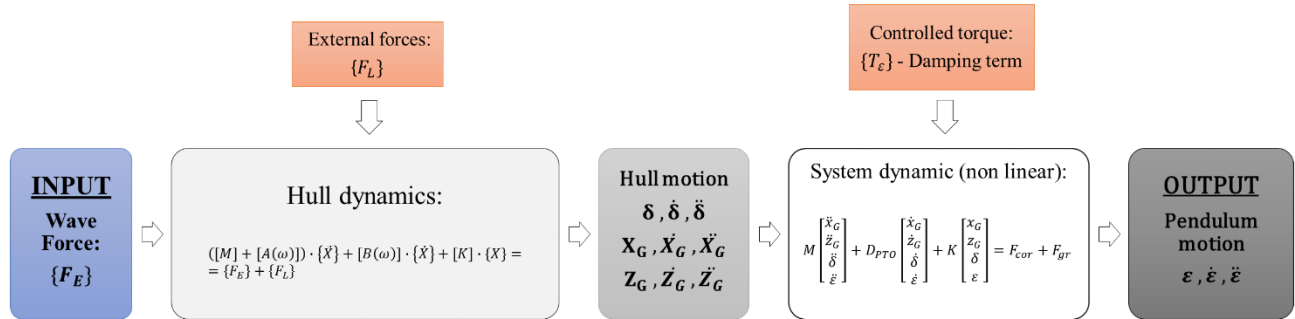


Figura 3: Schema dinamico della simulazione HIL.

Il modello dinamico del convertitore Pewec di riferimento è quello validato in scala 1:50 e 1:12 e utilizzato per la progettazione del sistema full-scale. Le variazioni del comportamento del PTO rispetto alla sua modellazione matematica possono essere apprezzate e le ripercussioni sul sistema globale valutate, simulando anche casi di guasto e sviluppando logiche di messa in sicurezza.

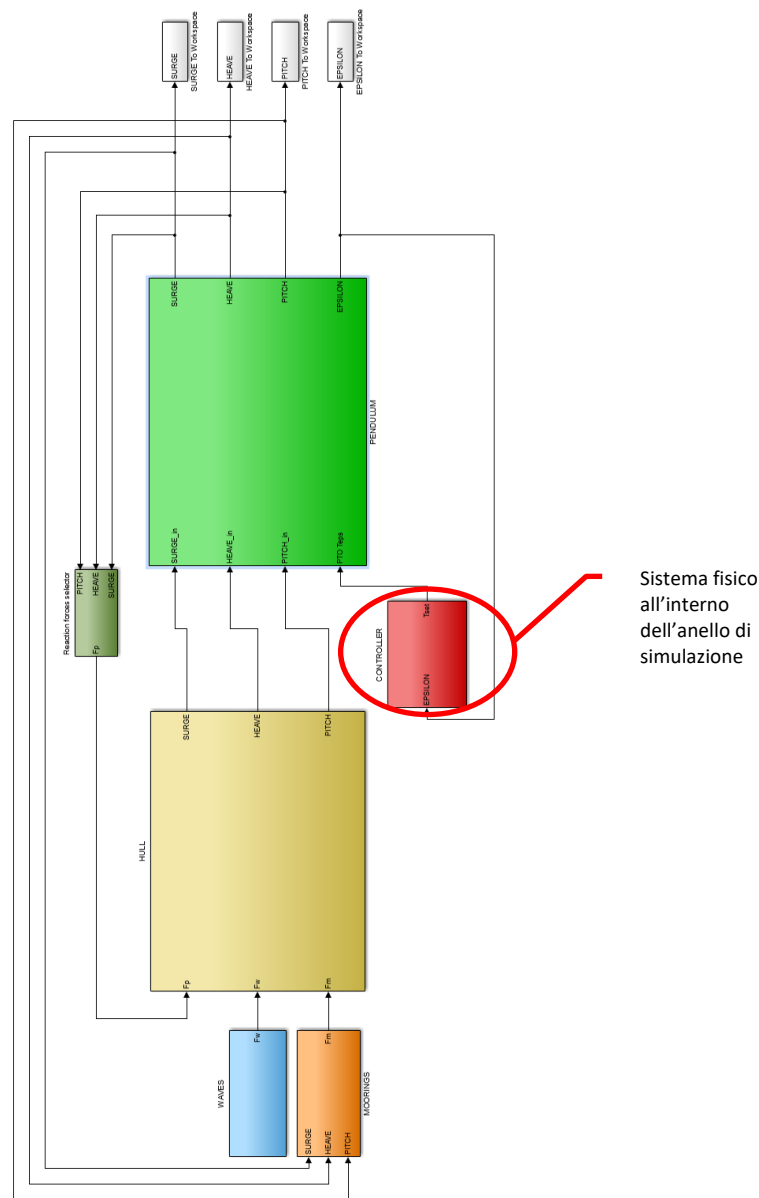


Figura 4: Modello HIL con integrazione dell'hardware PTO.

Di seguito sono mostrati gli andamenti nelle condizioni nominali che PTO sul banco deve riprodurre. Se il sistema PTO fisico non è in grado di riprodurle, tale evento sarà rilevato dal modello matematico che provvederà a cambiarne l'interazione con lo scafo in real time. Al termine della prova sul banco sarà possibile valutare l'incidenza del diverso comportamento del PTO sull'intero sistema e compararlo con quello ideale. Con tali informazioni sarà possibile migliorare le leggi di controllo del PTO e in ultima analisi aumentare la produttività del sistema. In appendice sono mostrate una serie di condizioni di funzionamento da provare sul banco prova, che prevedono variazioni del parametro c di controllo del PTO sull'onda nominale e diverse condizioni ondose di riferimento per il sito di Pantelleria.

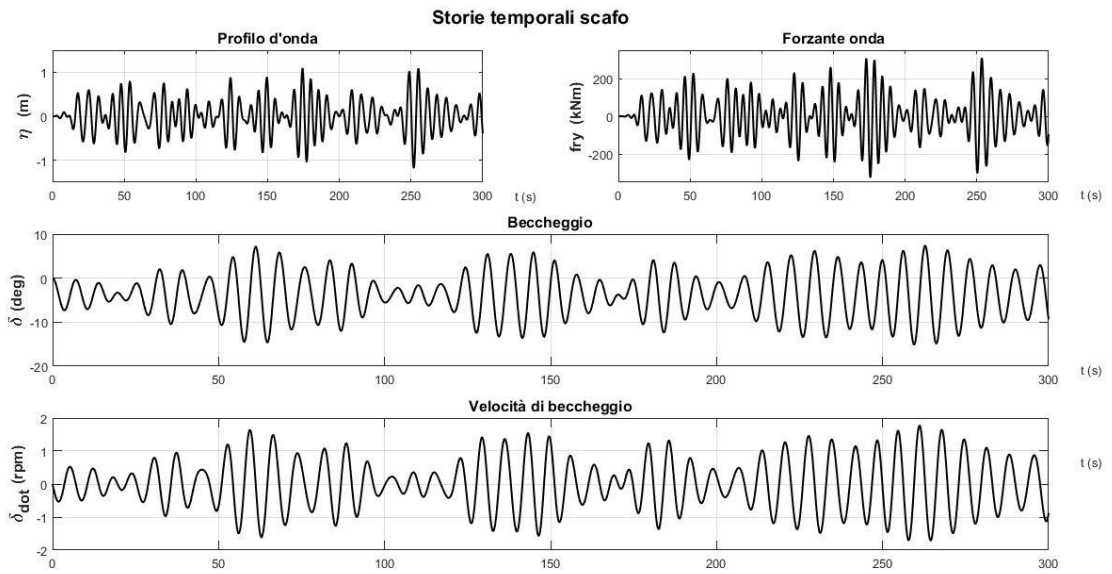


Figura 5: Storia temporale condizioni ondose nominali (grandezze di scafo).

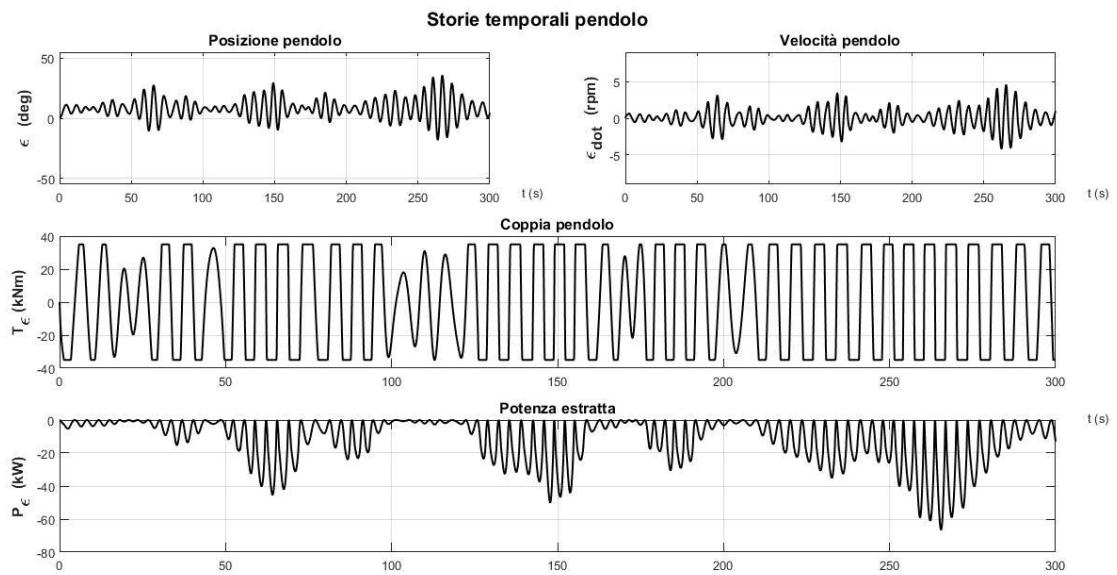


Figura 6: Storia temporale condizioni ondose nominali (grandezze interne).

1.5 Layout fisico del banco

Il layout fisico del banco prevede un basamento al di sopra del quale scorrono due squadre che sorreggono il motore e il PTO. Le due squadre scorrono sul basamento tramite guide lineari. Il torsionmetro è unito a motore e PTO tramite giunti a lamelle, rigidi torsionalmente, ma in grado di accettare disallineamenti fra motore e PTO e quindi preservando la bontà della misurazione della coppia da parte del PTO. L'allontanamento delle squadre permette l'inserimento del moltiplicatore per le prove di forzamento della velocità. I disegni esecutivi del banco sono riportati in Appendice.

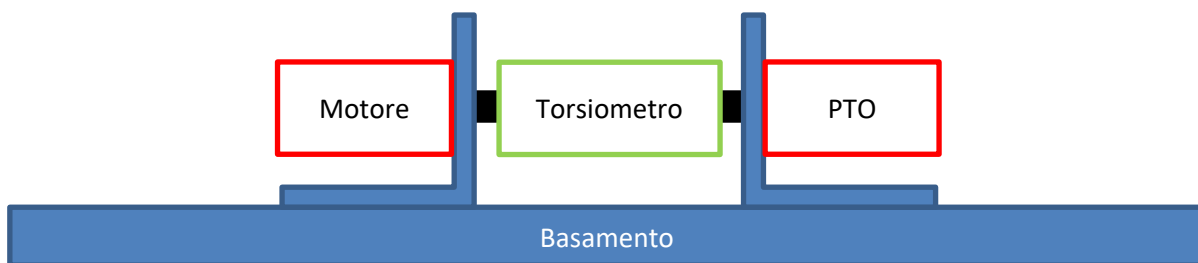


Figura 7: Schema fisico del sistema.

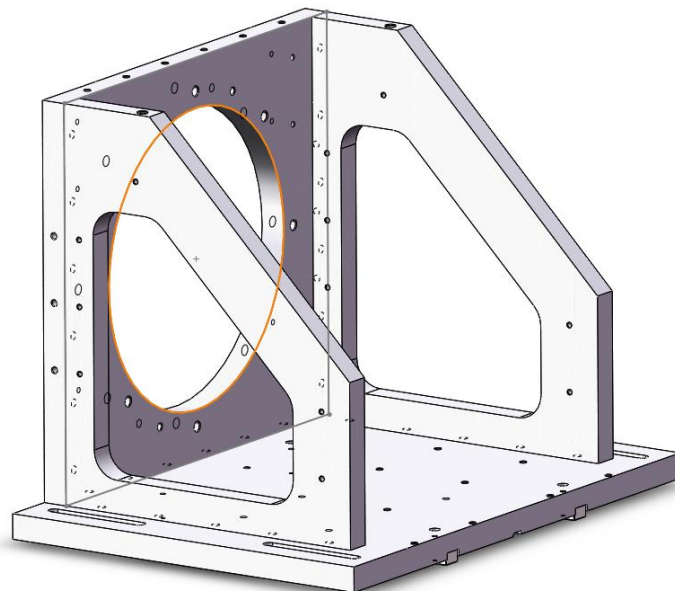


Figura 8: Disegno 3D di una squadra.

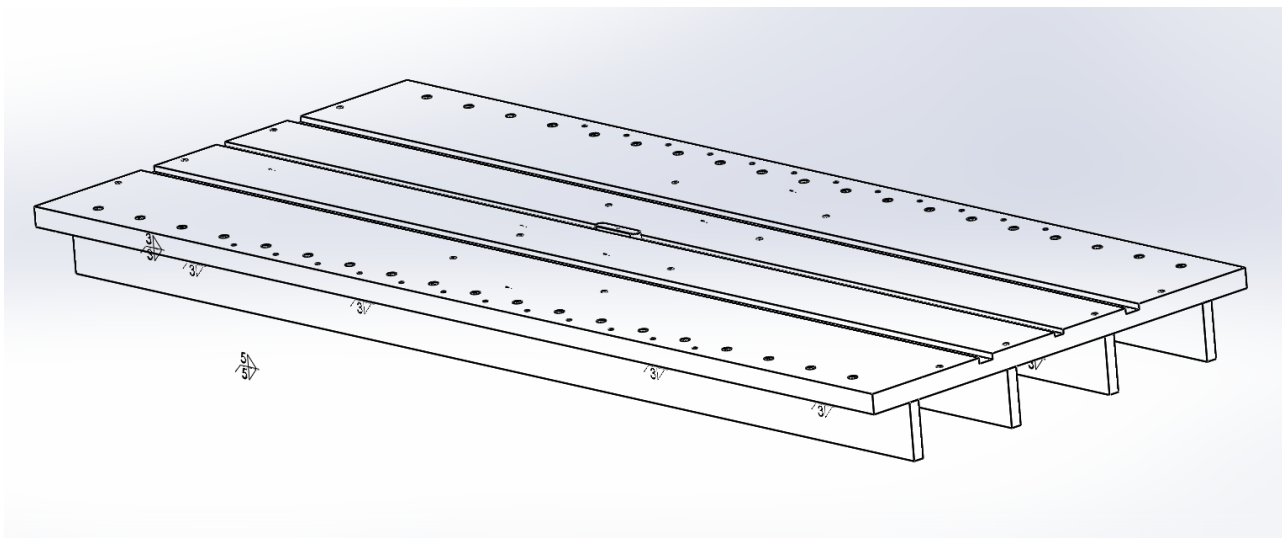


Figura 9: Disegno 3D del basamento.

Le dimensioni del banco in pianta sono pari a 2 x 1 m e il peso stimato della struttura è di circa 1200 kg. A seconda dei componenti commerciali utilizzati per la realizzazione la forma del banco potrebbe avere minime variazioni (numero e diametro dei fori di fissaggio dei motori e PTO, diametro di flangia).

1.6 Specifiche dei componenti

Il banco di prova è costituito dai seguenti componenti:

- 2 motori coppia
 - o Motore 1: funzionamento MOTORE, Coppia nominale 2 kNm, coppia max $\sim 1.5 \cdot$ nominale = 3 kNm
 - o Motore 2: funzionamento PTO, Coppia nominale 1.5 kNm, coppia max $\sim 1.8 \cdot$ nominale = 2.7 kNm
- 2 drivers rigenerativi di controllo dei motori con alimentazione 600/720Vdc. I drivers devono avere capacità di implementazione controllo posizione/velocità/coppia;
- 1 torsionmetro, coppia nominale 3 kNm;
- 1 alimentatore 400 Vac trifase \rightarrow 600/720 Vdc, potenza nominale 80 kW;
- Nel caso si desiderasse forzare il PTO oltre i limiti di velocità è necessario inserire n°1 moltiplicatore di velocità con rapporto di trasmissione 1.5-2:1.

1.7 Segnali acquisiti

Il banco è equipaggiato con un sistema di acquisizione che effettua il monitoraggio e il salvataggio dei segnali provenienti dai trasduttori.

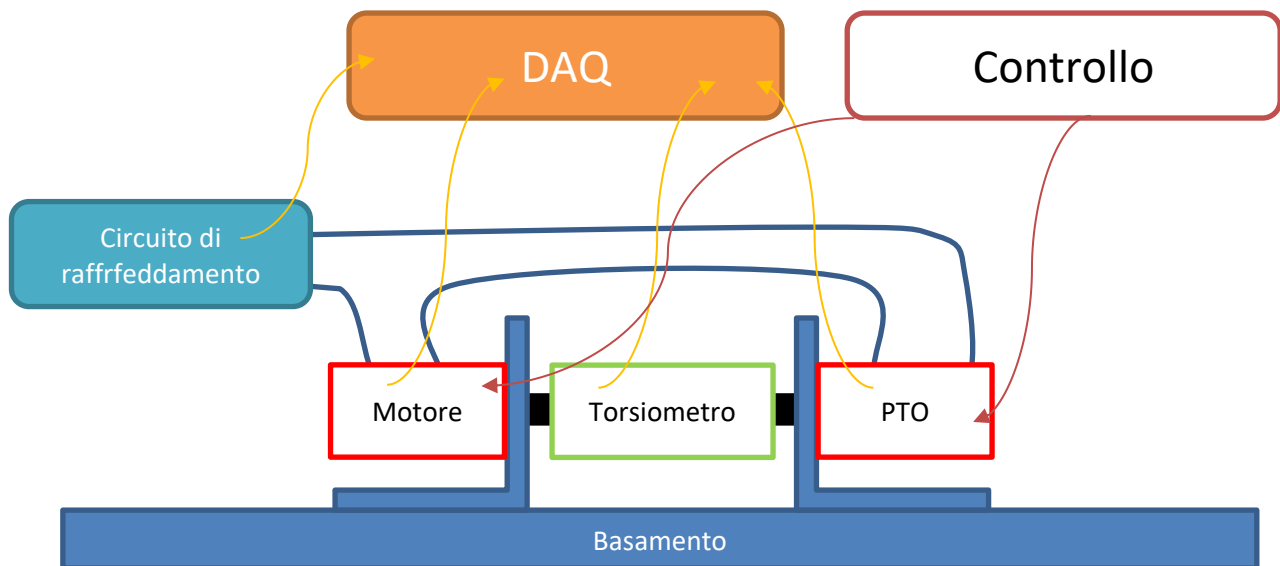


Figura 10: Schema concettuale del sistema di acquisizione e controllo.

I segnali acquisiti durante le prove sono i seguenti:

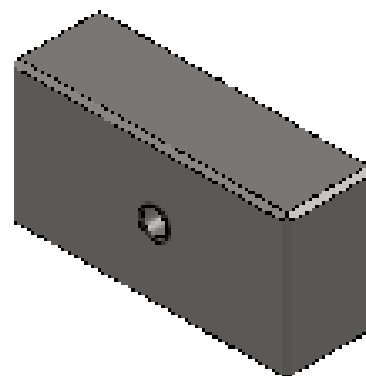
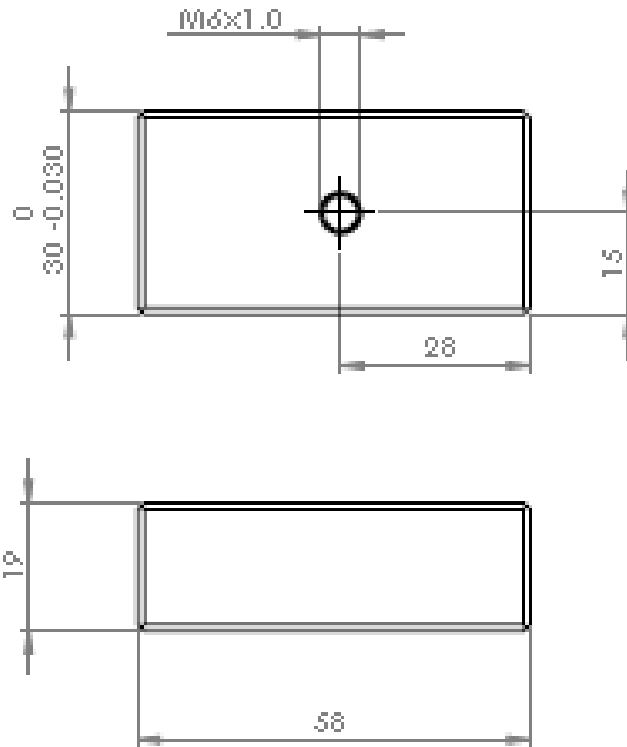
1. PTO
 - a. Coppia
 - b. Posizione, Velocità, Accelerazione
 - c. Temperatura motore
 - d. Tensioni
 - e. Correnti
2. Driver
 - a. Temperatura
 - b. Stato
3. Circuito di raffreddamento
 - a. Temperatura ingresso e uscita fluido dal PTO
 - b. Portata
 - c. Pressione di ingresso PTO
 - d. Potenza elettrica assorbita dalle pompe

1.8 Conclusioni

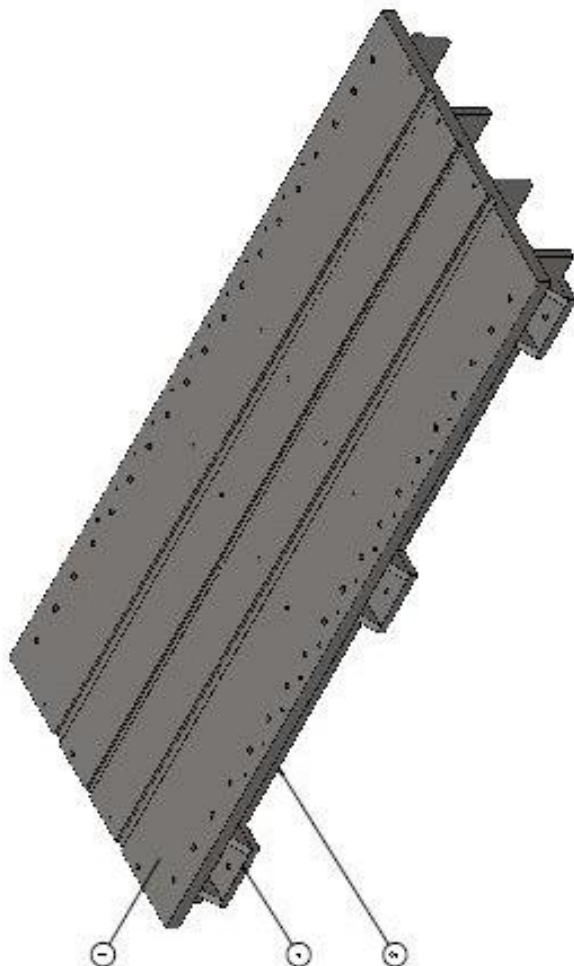
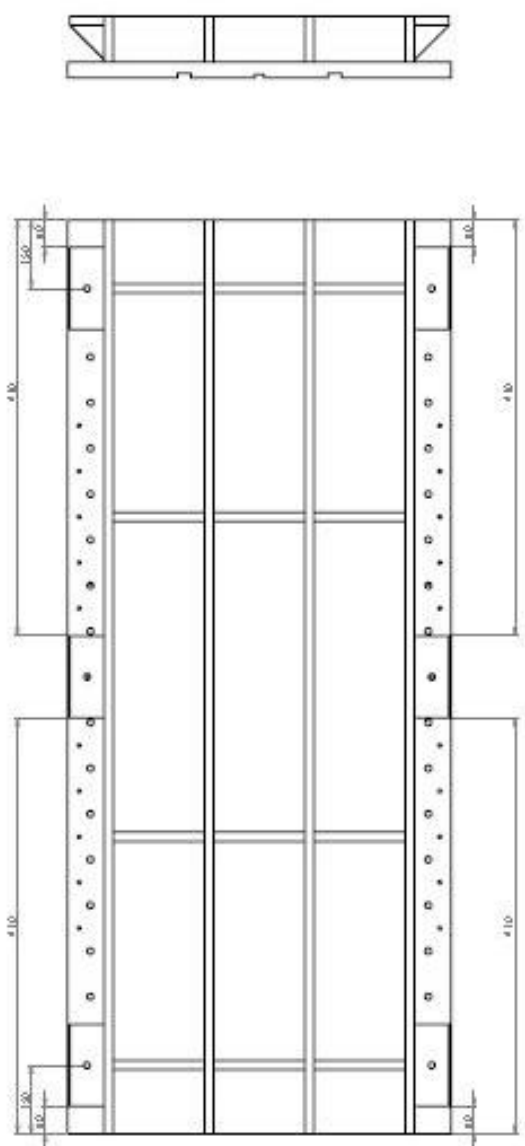
Nel presente report è stata delineata la procedura di progettazione di un banco prova PTO per il sistema Pewec full scale. Il sistema è analizzato dal punto di vista funzionale, il banco progettato meccanicamente e le specifiche dei suoi componenti principali sono identificate.

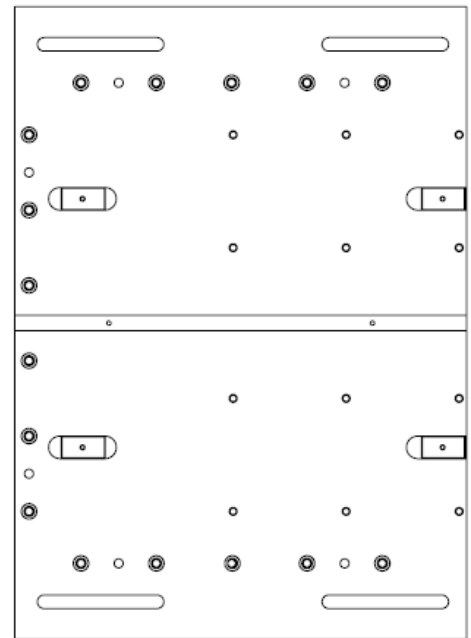
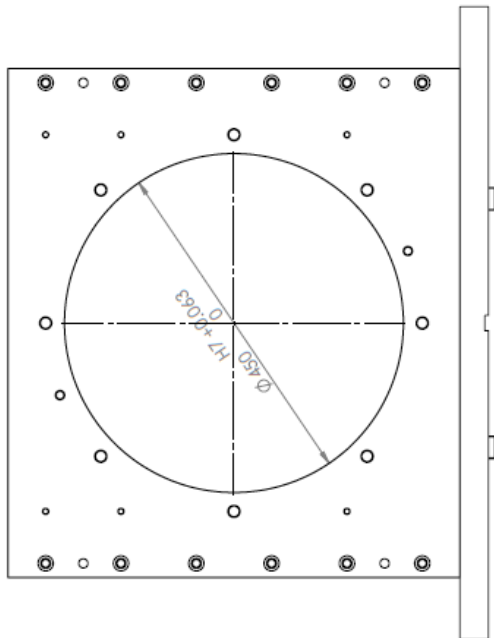
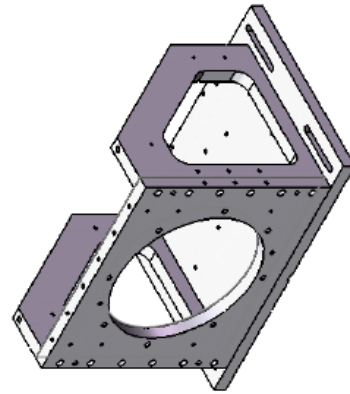
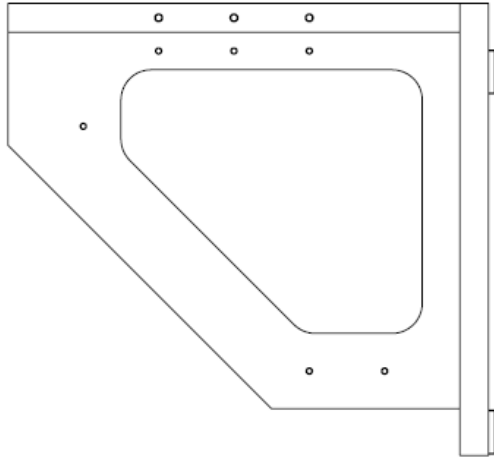
2 Appendice

2.1 Disegni Tecnici



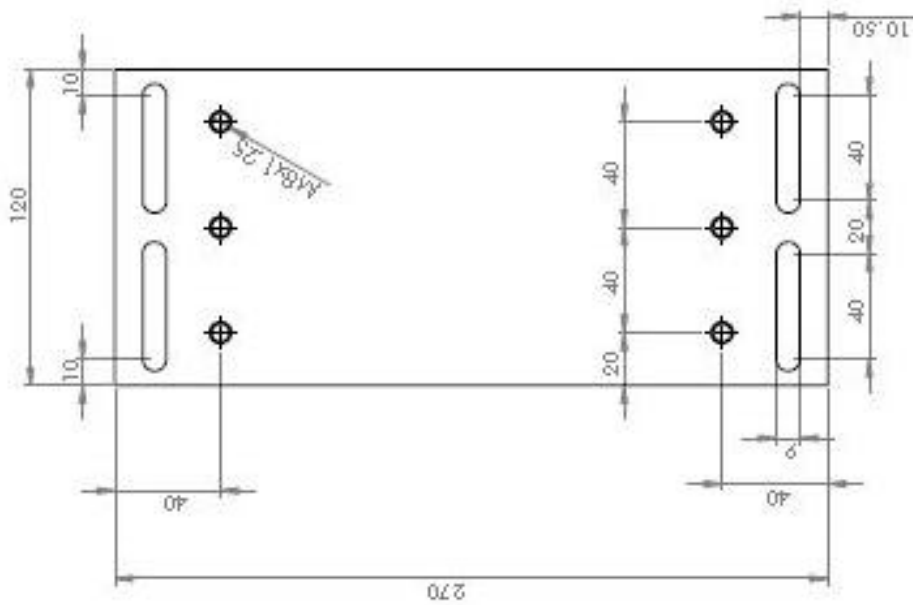
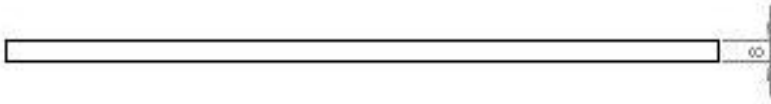
Smussi non quotati $1 \times 45^\circ$
eliminare bave o spigoli taglienti

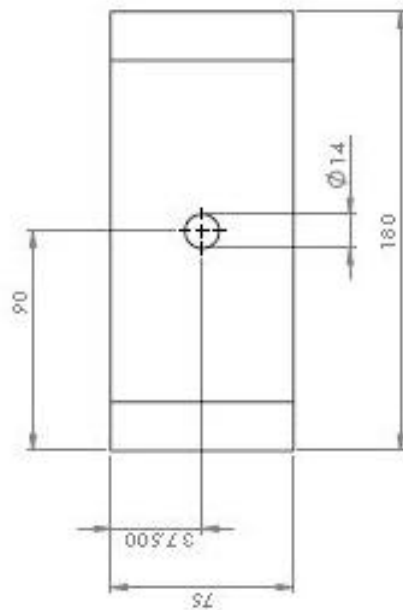
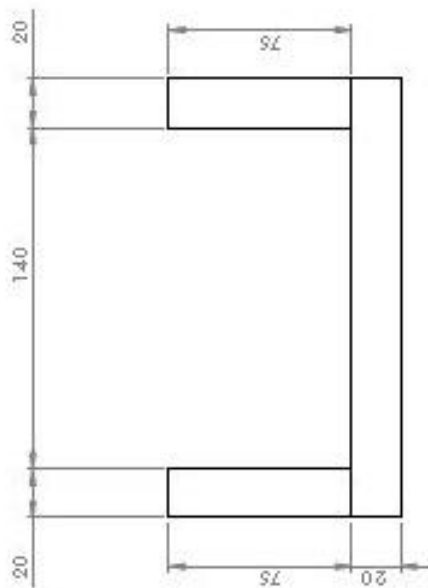
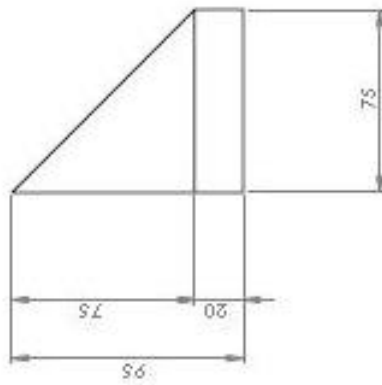
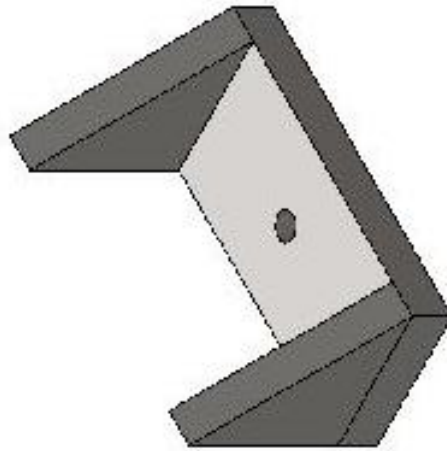






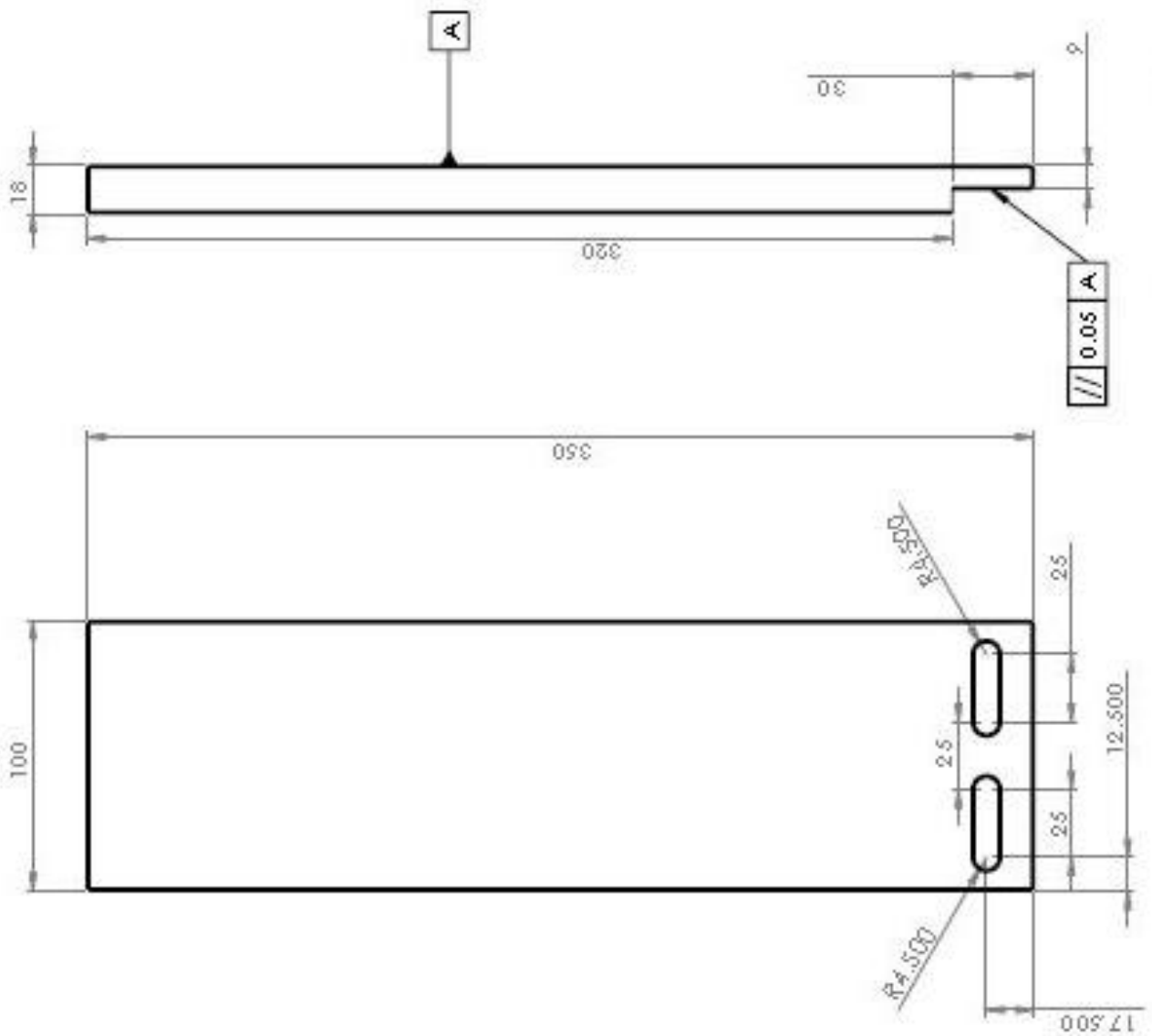
Smussi non quotati 1x45°
eliminare bavette o spigoli taglienti

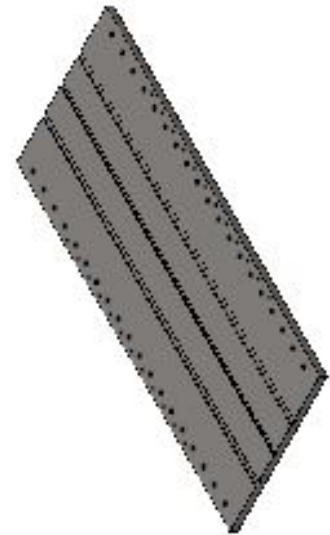
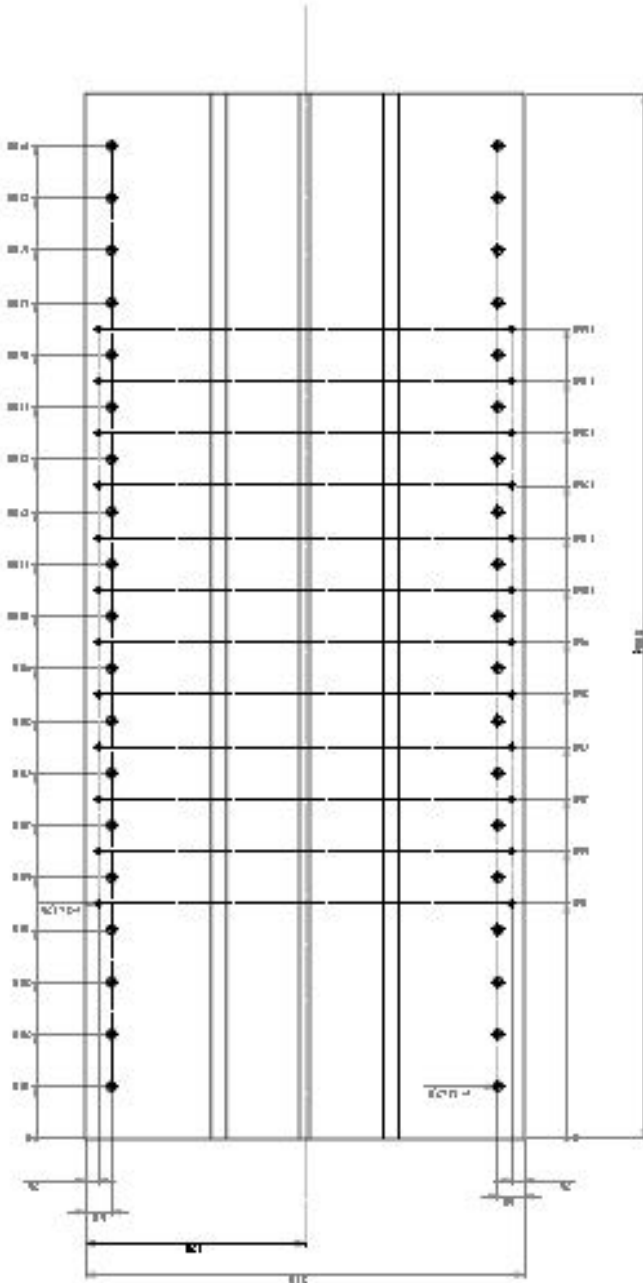
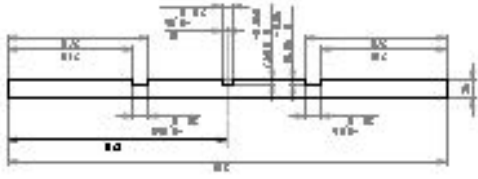


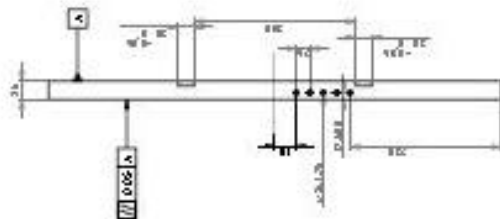
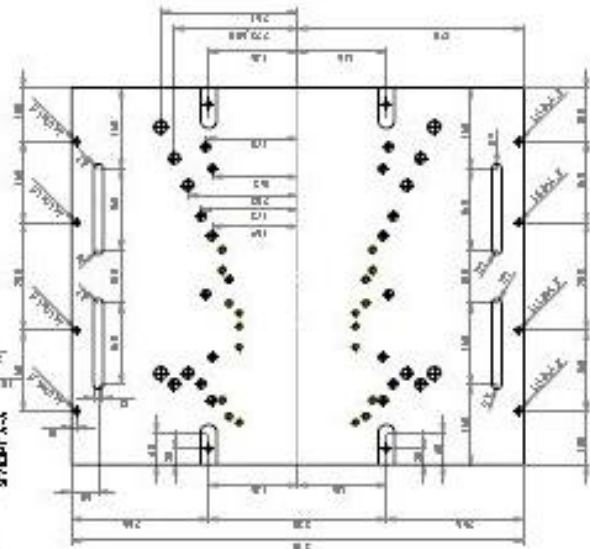
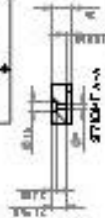
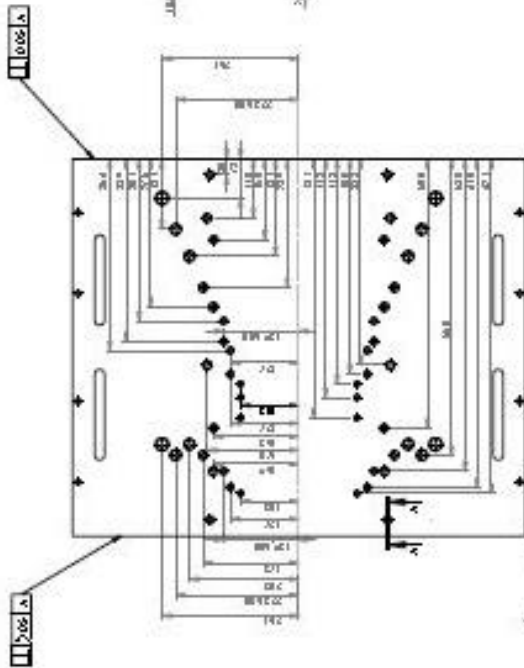
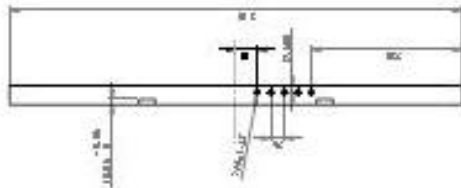
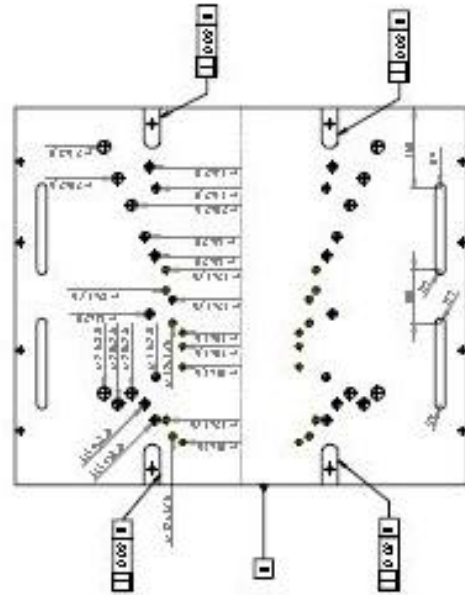


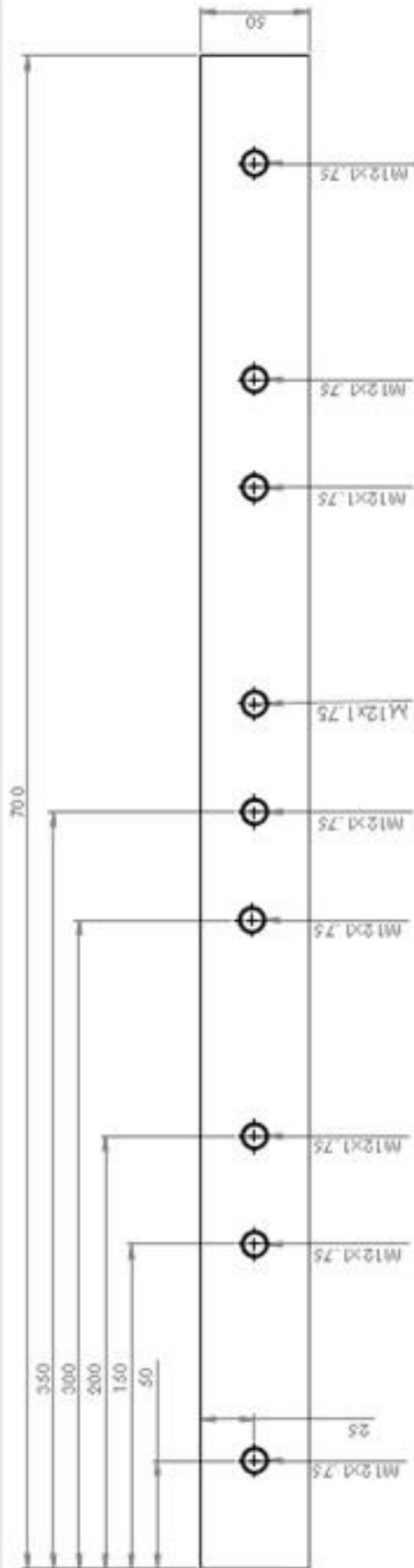


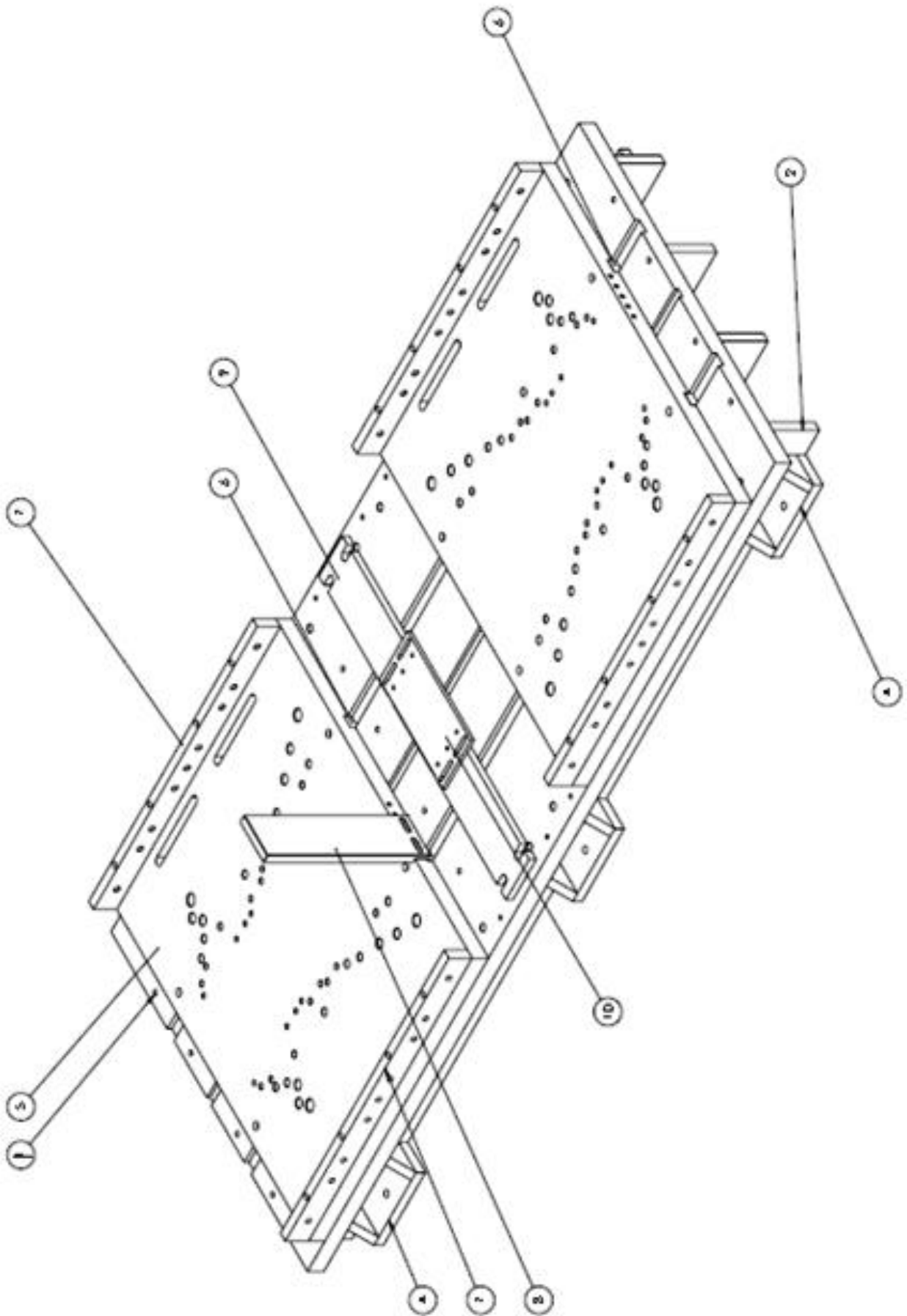
Smussi non quotati 1x45°
eliminare bave o spigoli taglienti

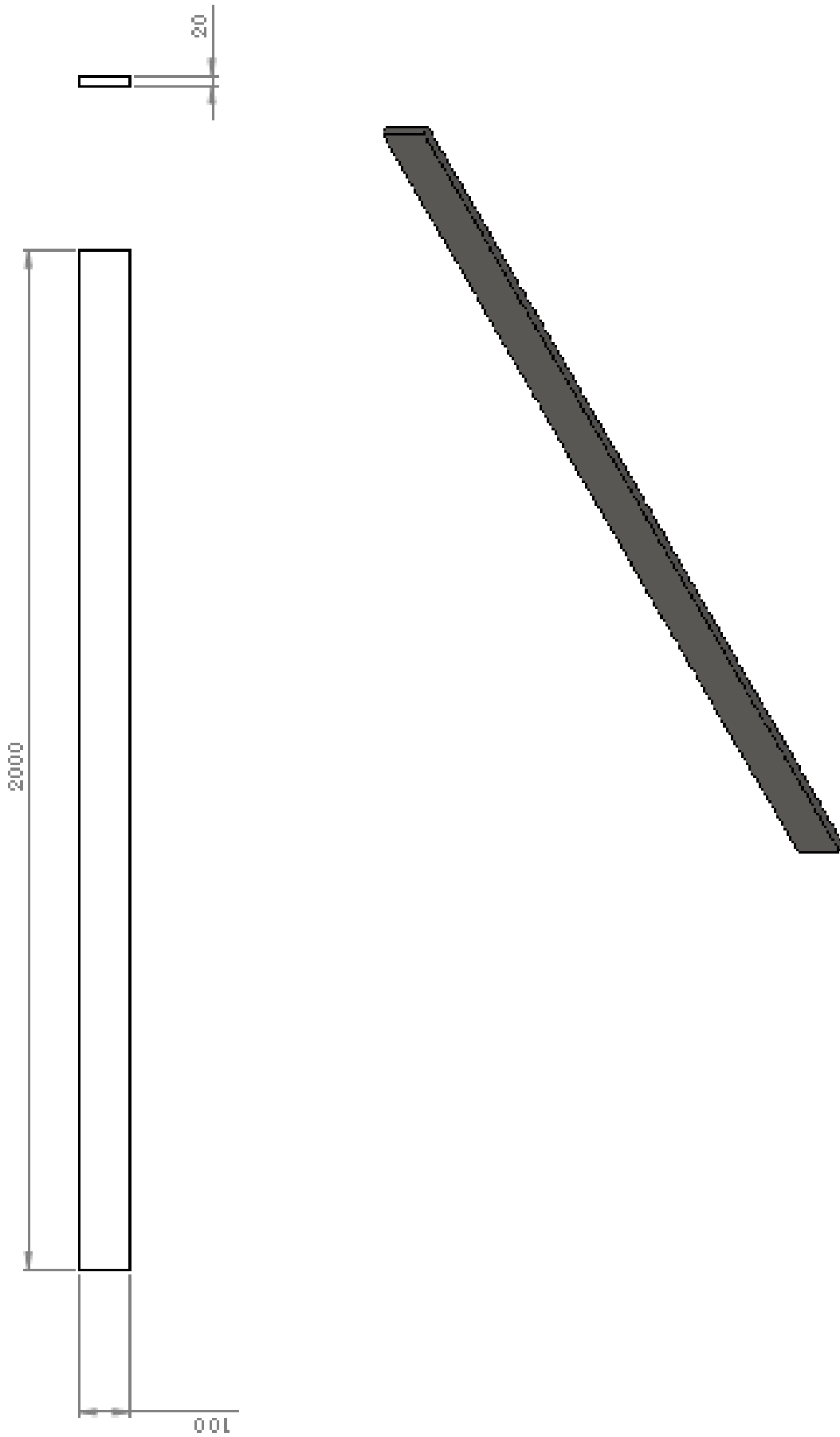


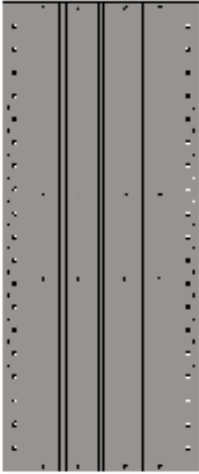
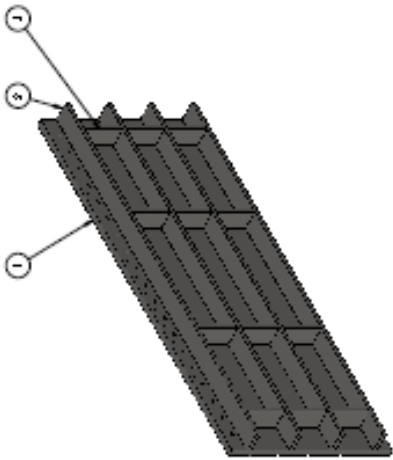
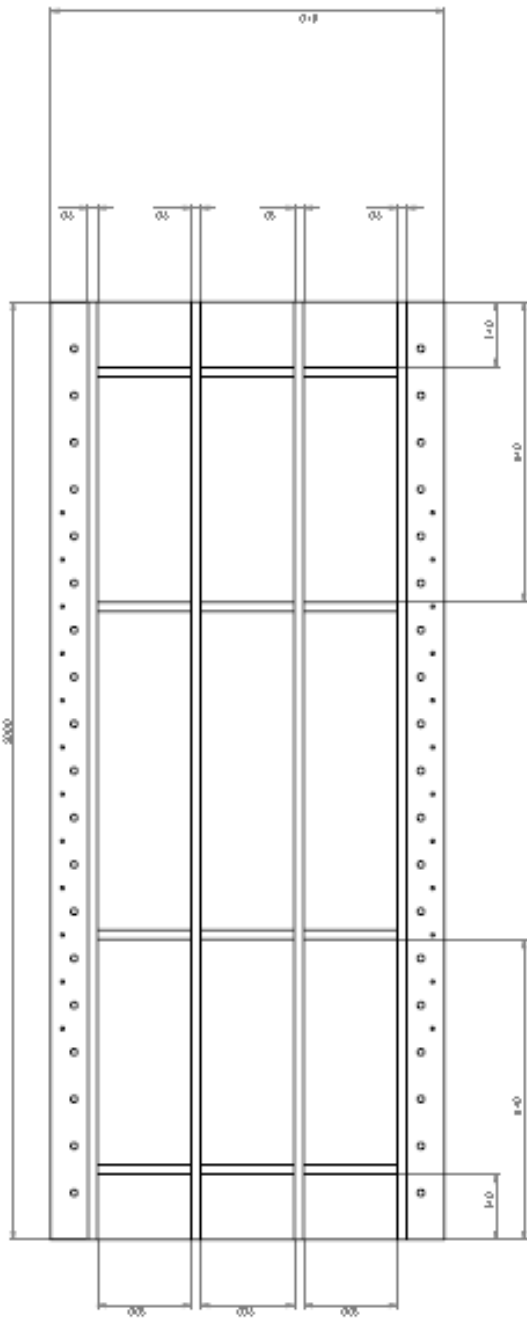
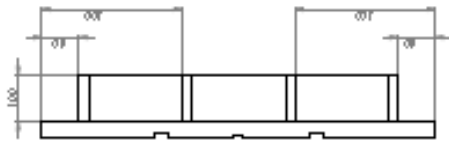


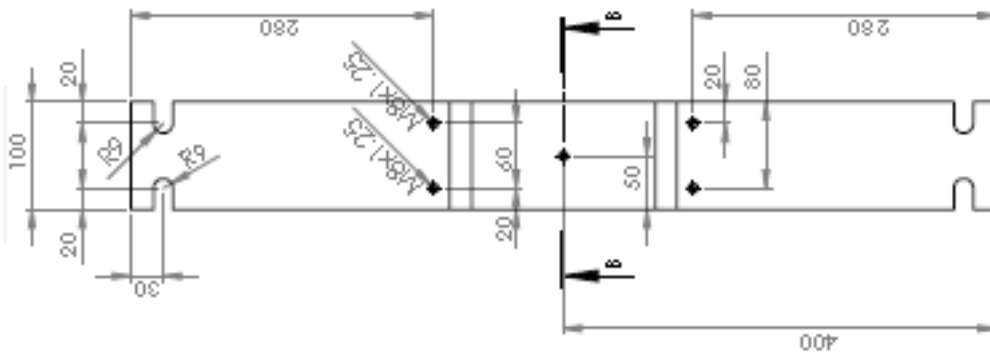
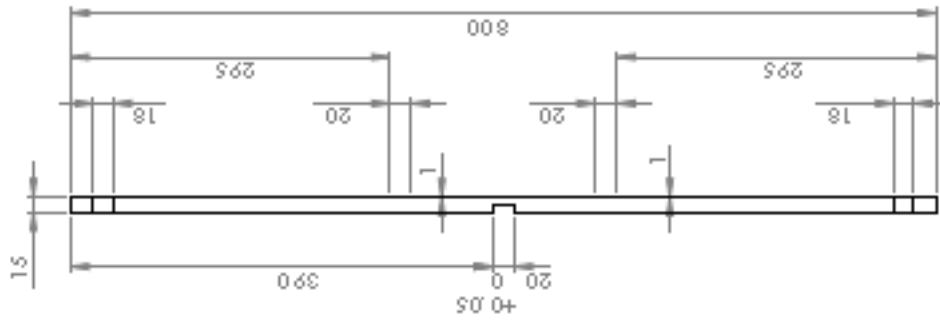








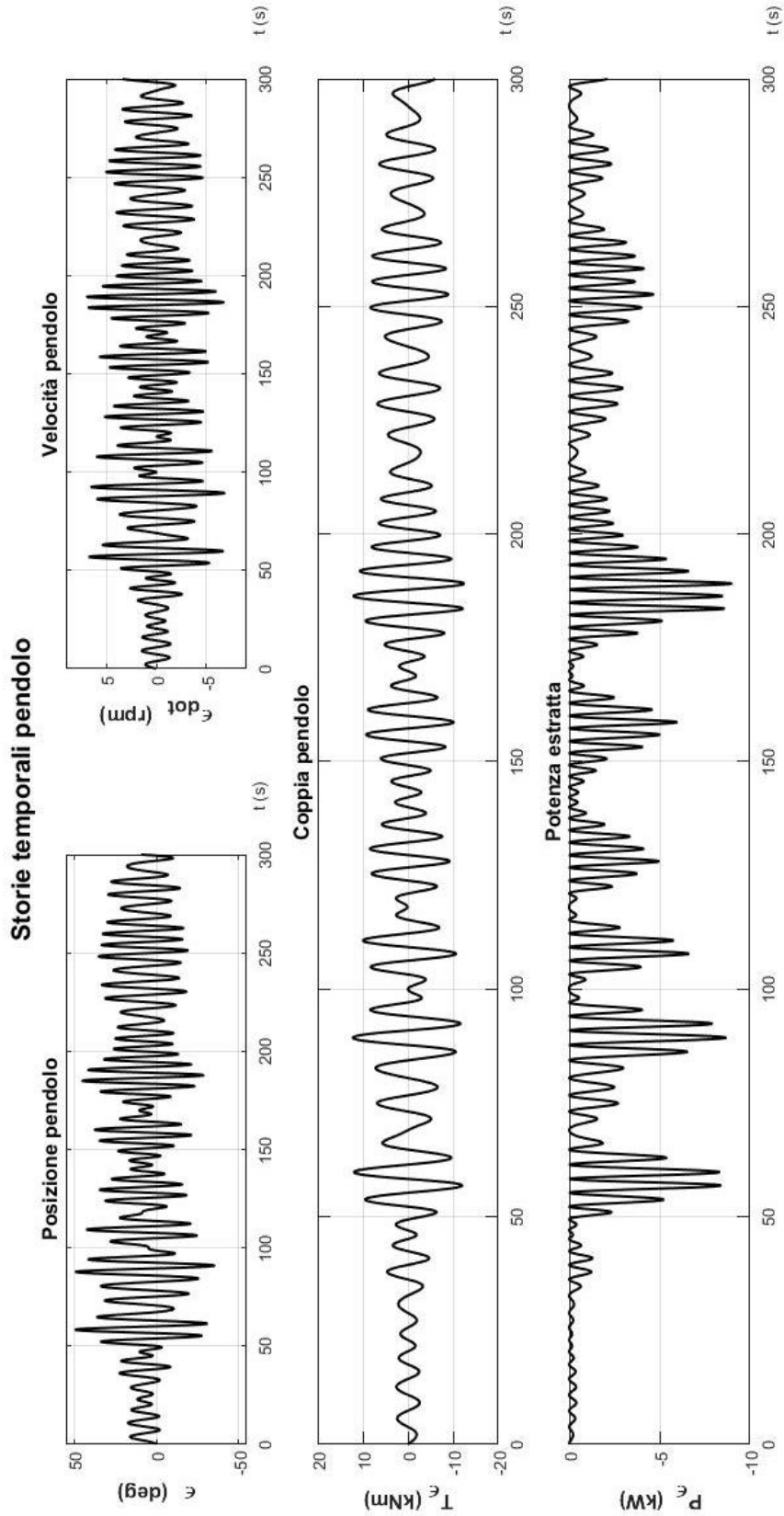




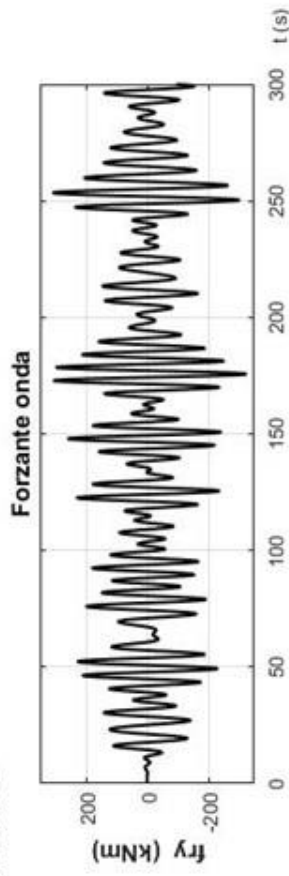
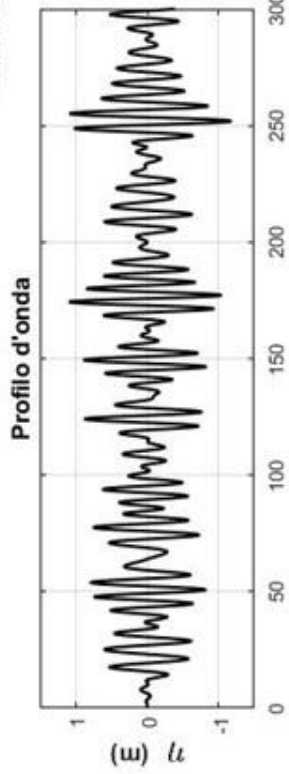
Smussi non quotati 1x45°
eliminare bavure o spigoli taglienti

2.2 Storie Temporalì

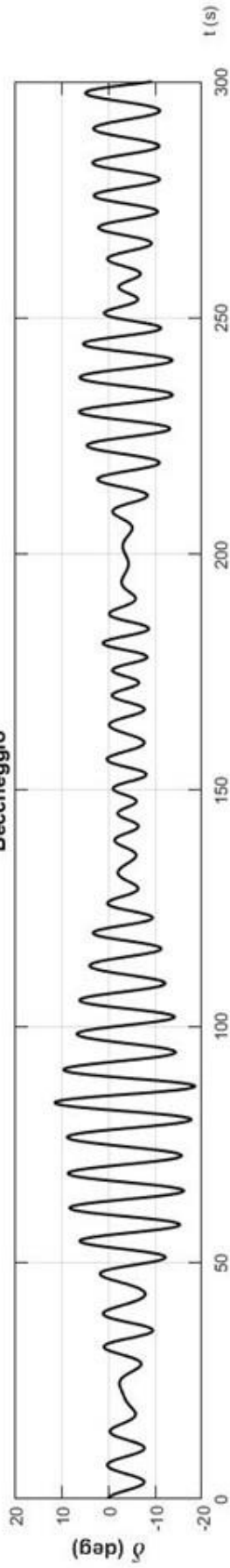
- Wave 46 – $T_e=6.5s$ $H_s=1.5m$ – $c = 1000 Nms/rad$



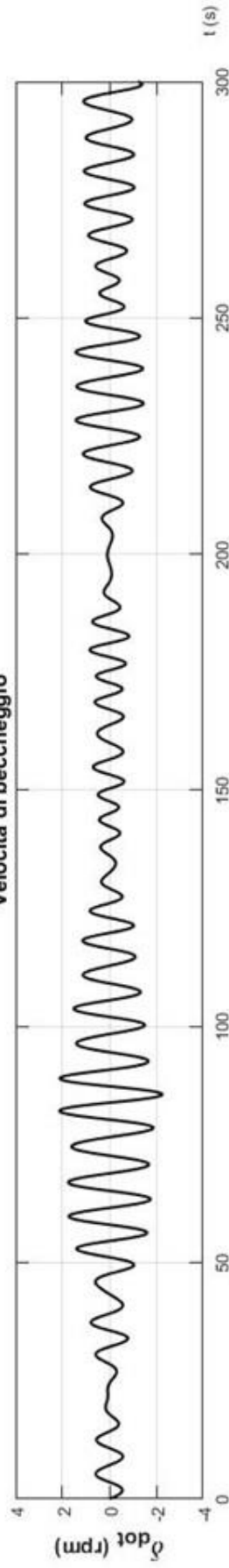
Storie temporali scafo



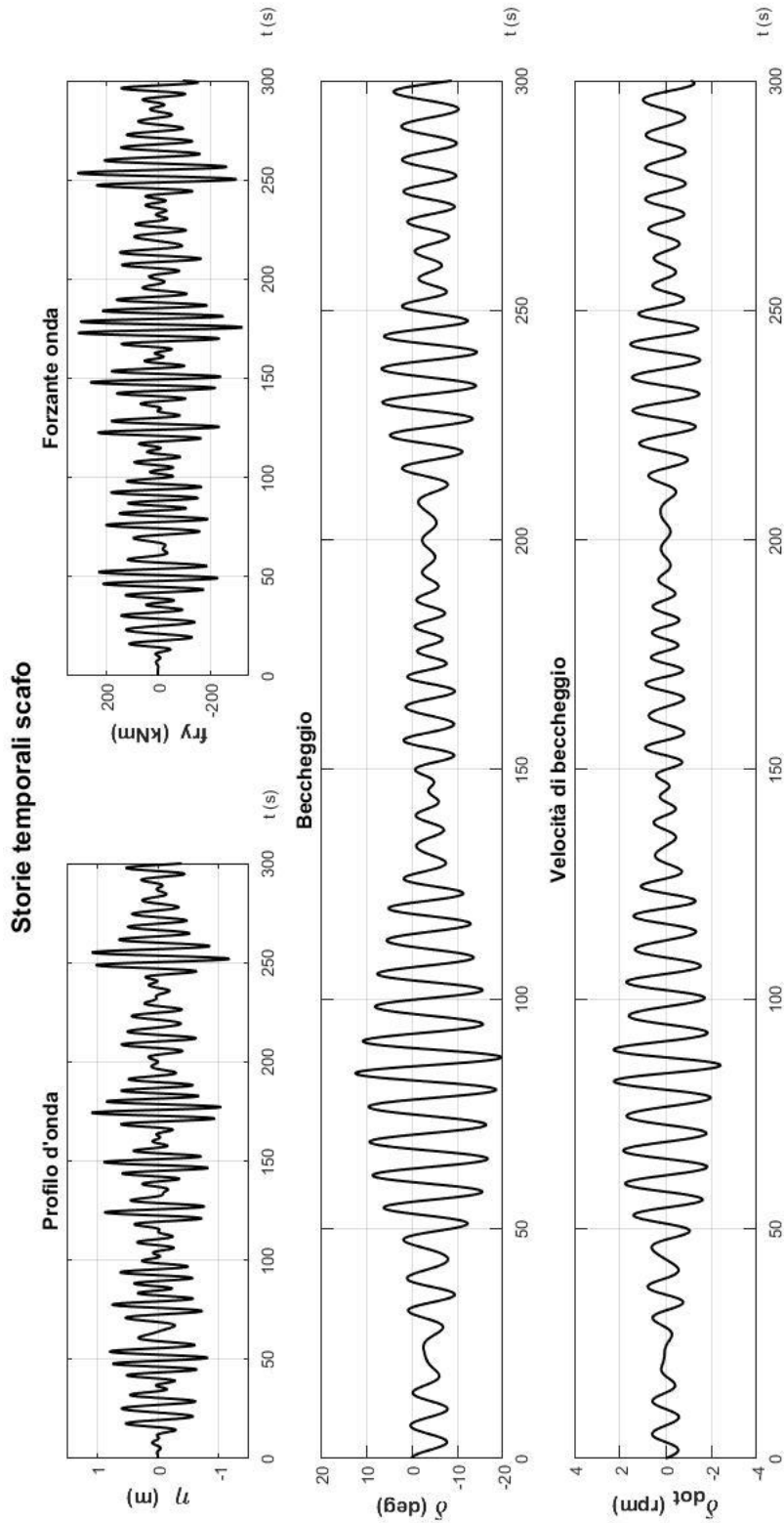
Beccheggio



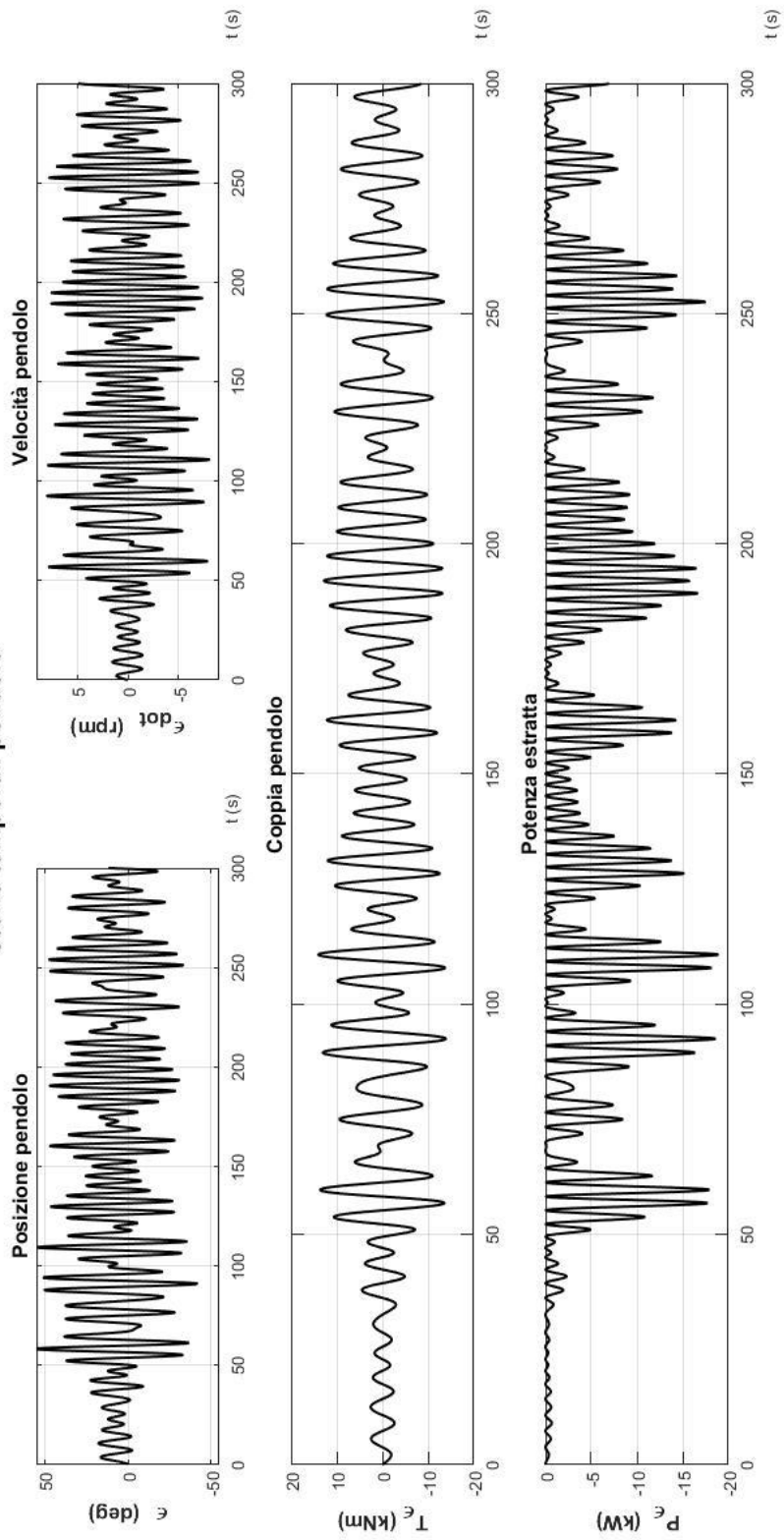
Velocità di beccheggio



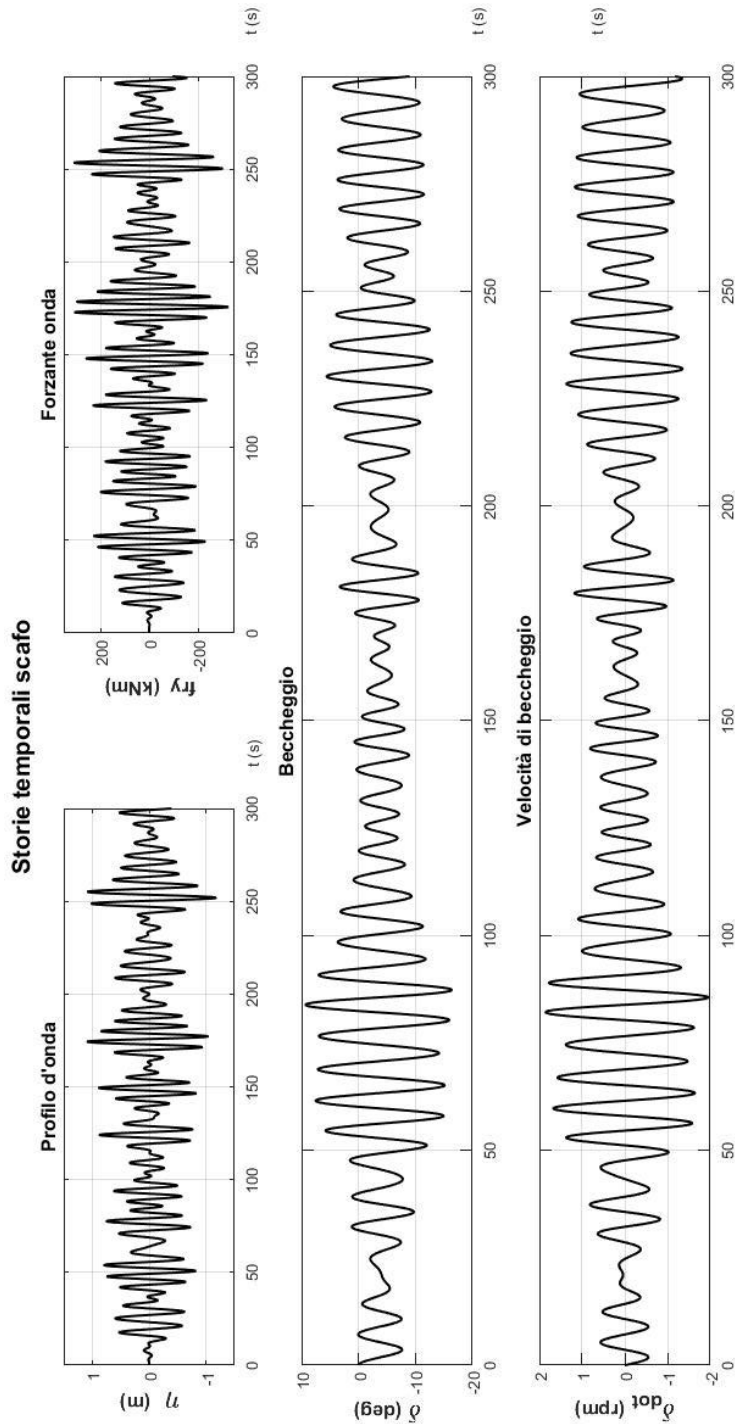
- Wave 46 – $T_e=6.5s$ $H_s=1.5m$ – $c = 6500$ Nms/rad



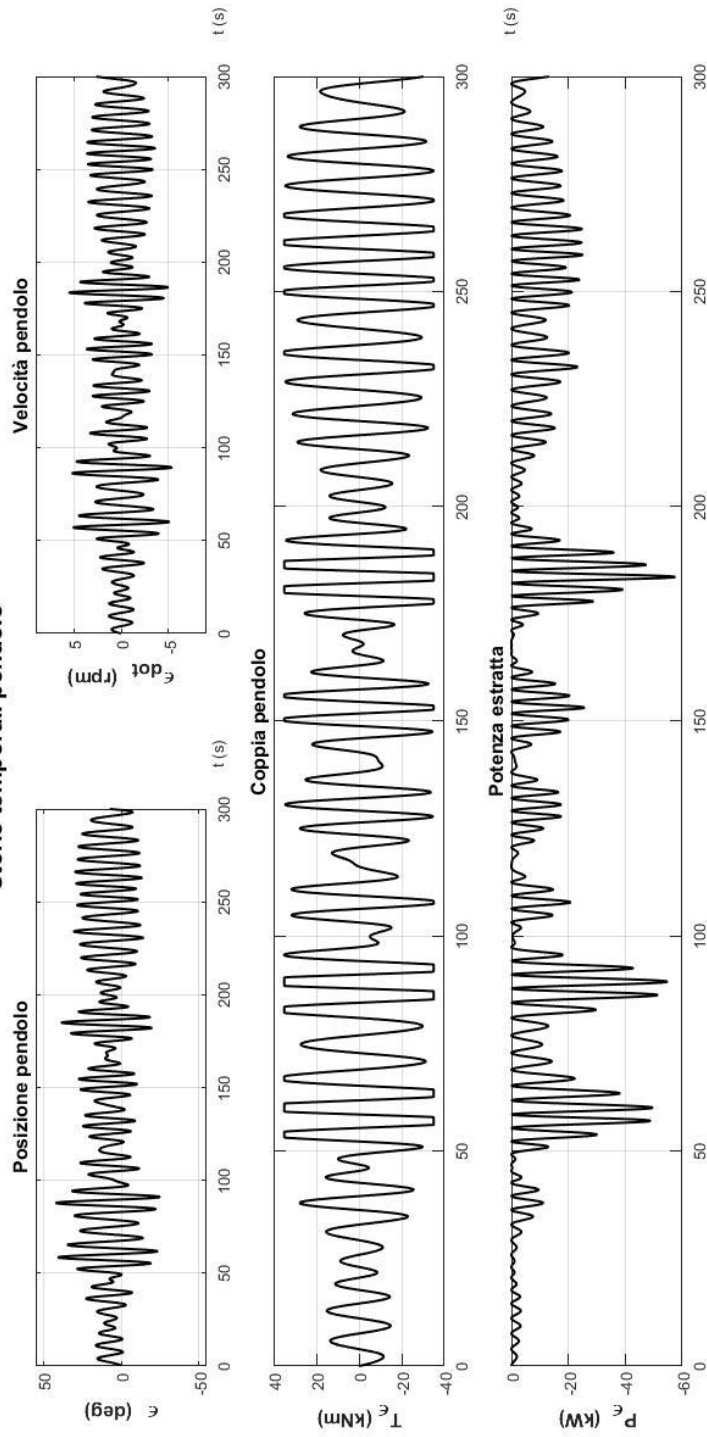
Storie temporali pendolo



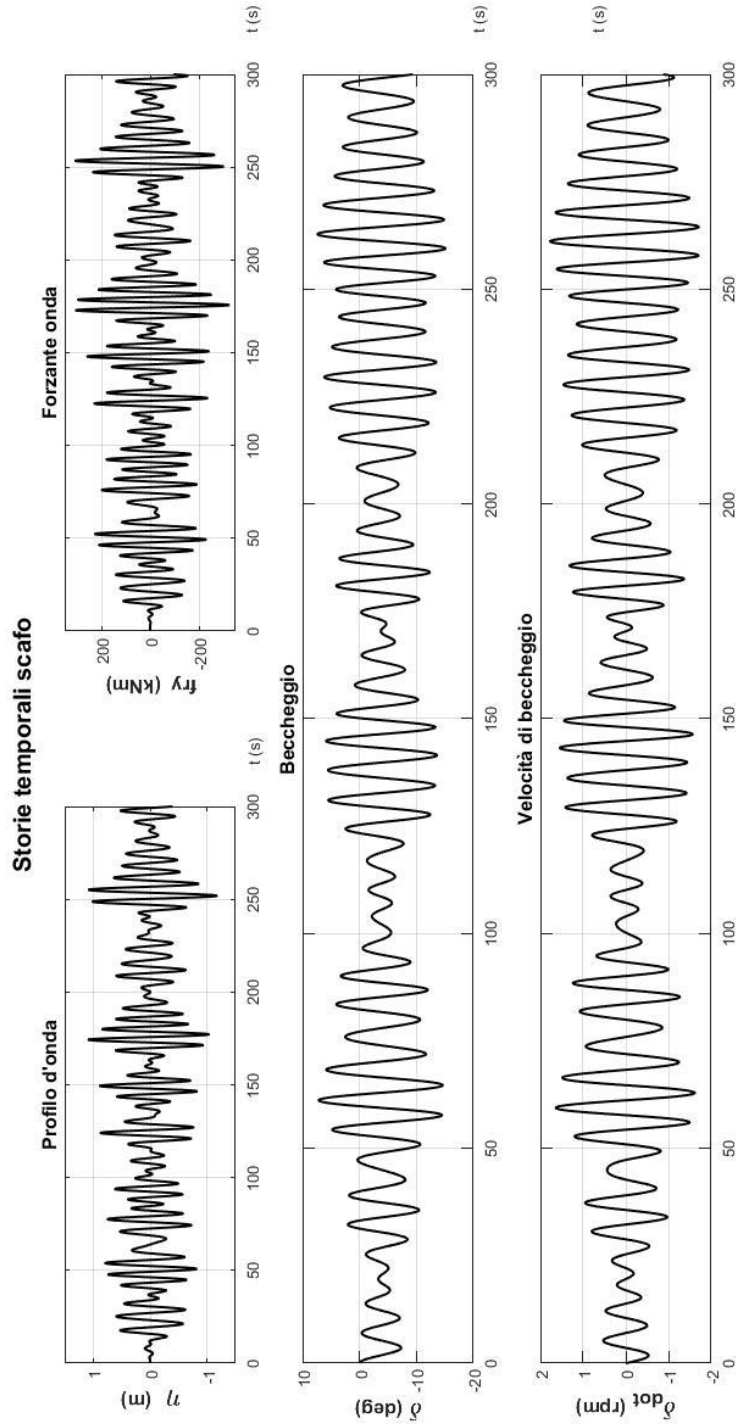
- Wave 46 – $T_e=6.5s$ $H_s=1.5m$ – $c = 18000 Nms/rad$

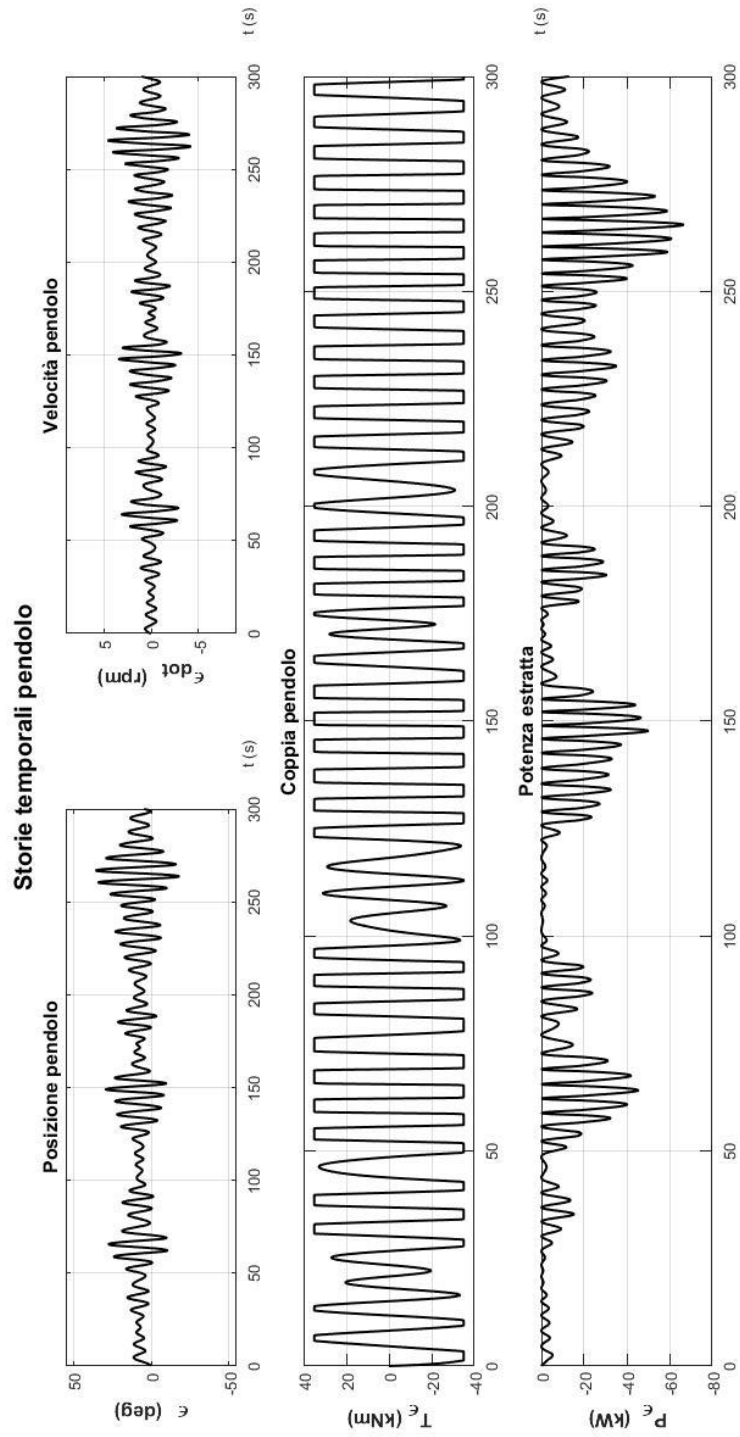


Storie temporali pendolo

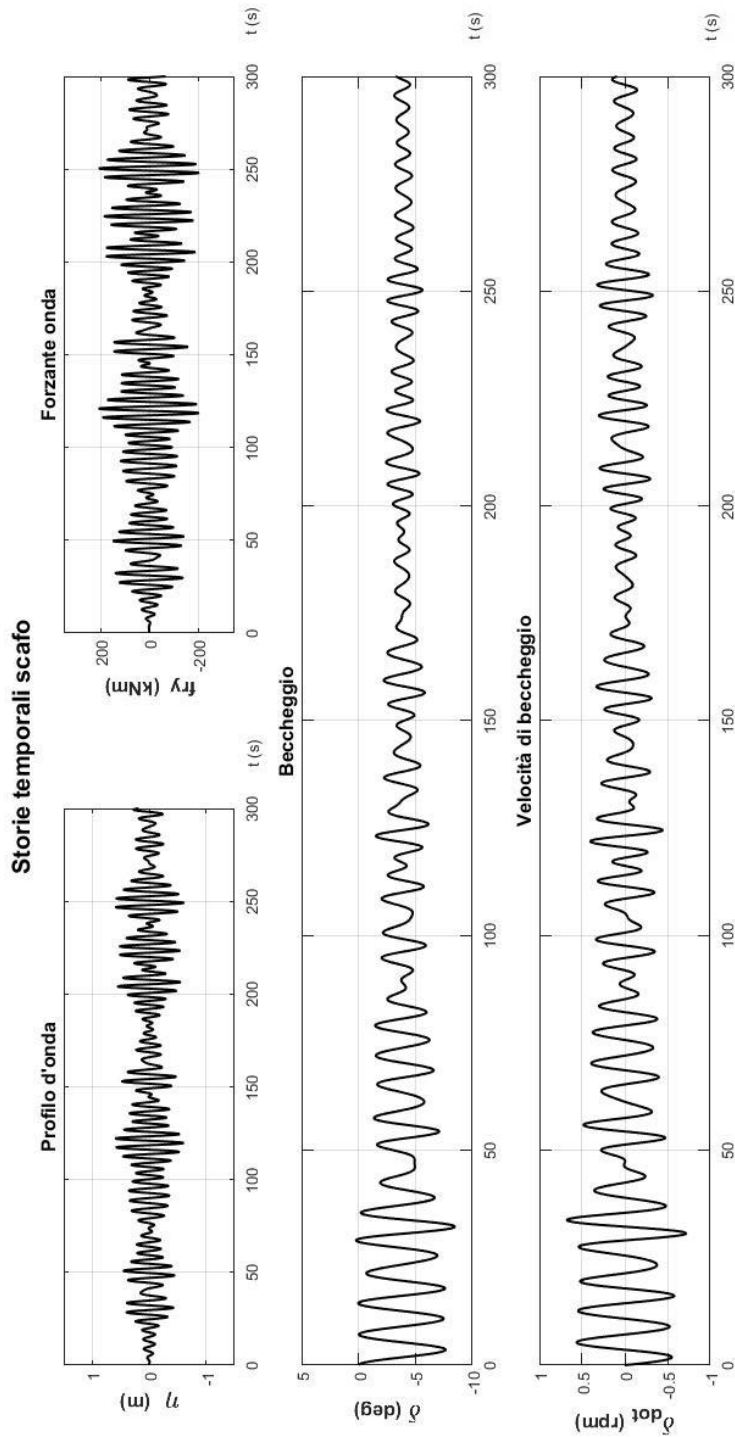


- Wave 46 – $T_e=6.5s$ $H_s=1.5m$ – $c = 300000$ Nms/rad

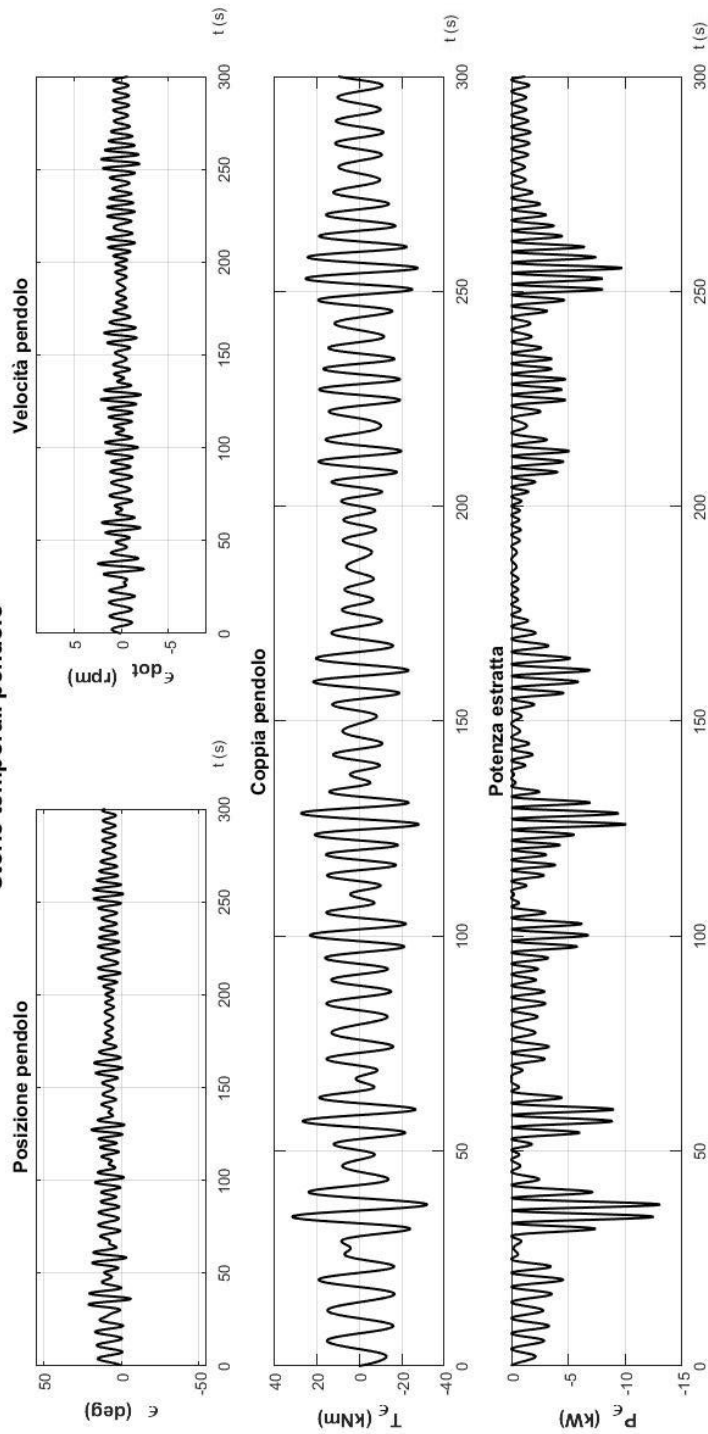




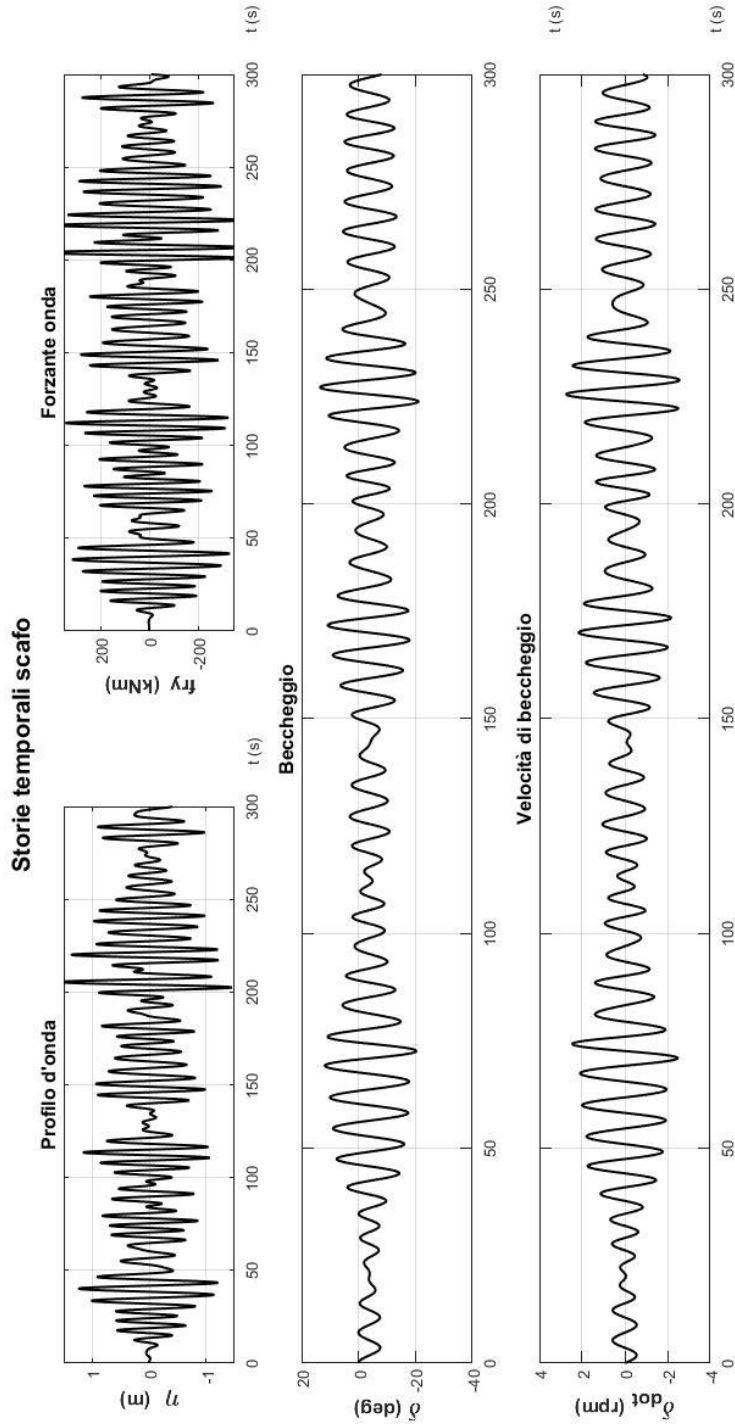
- Wave 24 – Te=5s Hs=1m



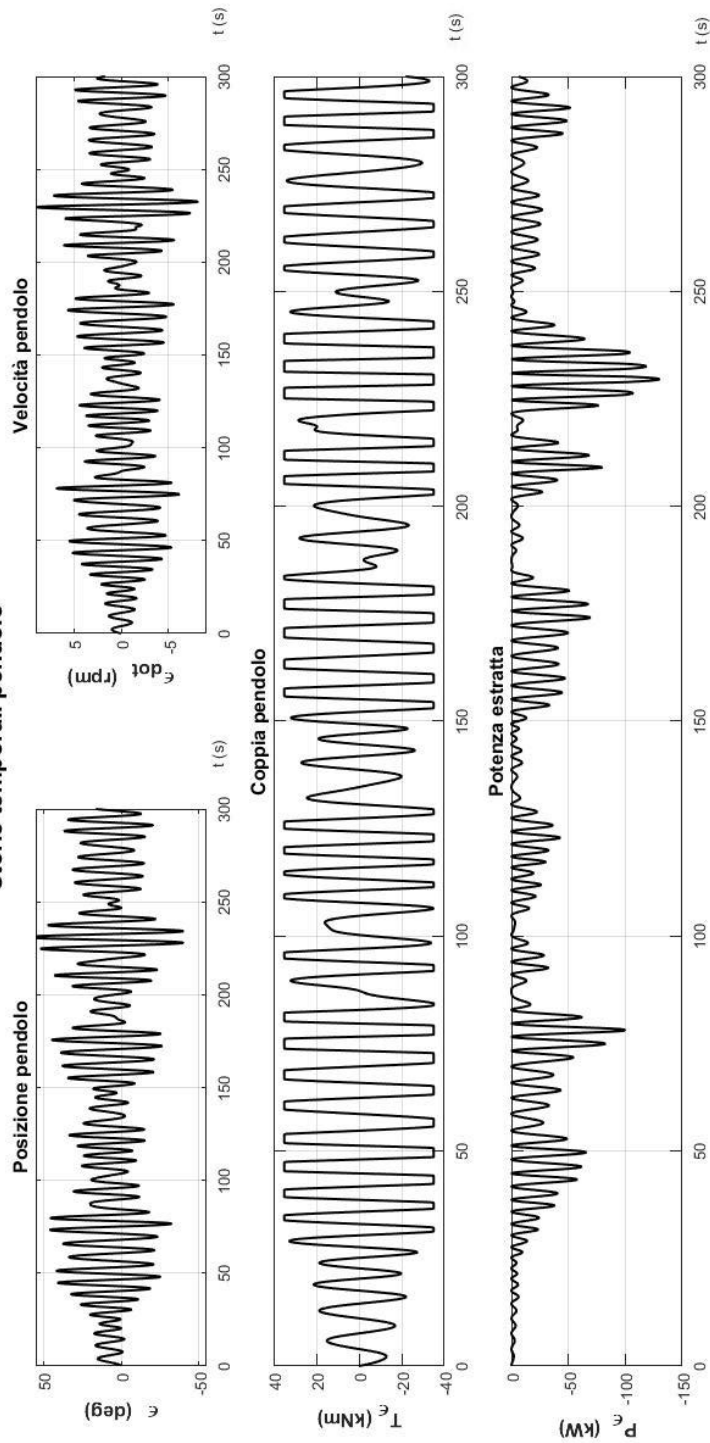
Storie temporali pendolo



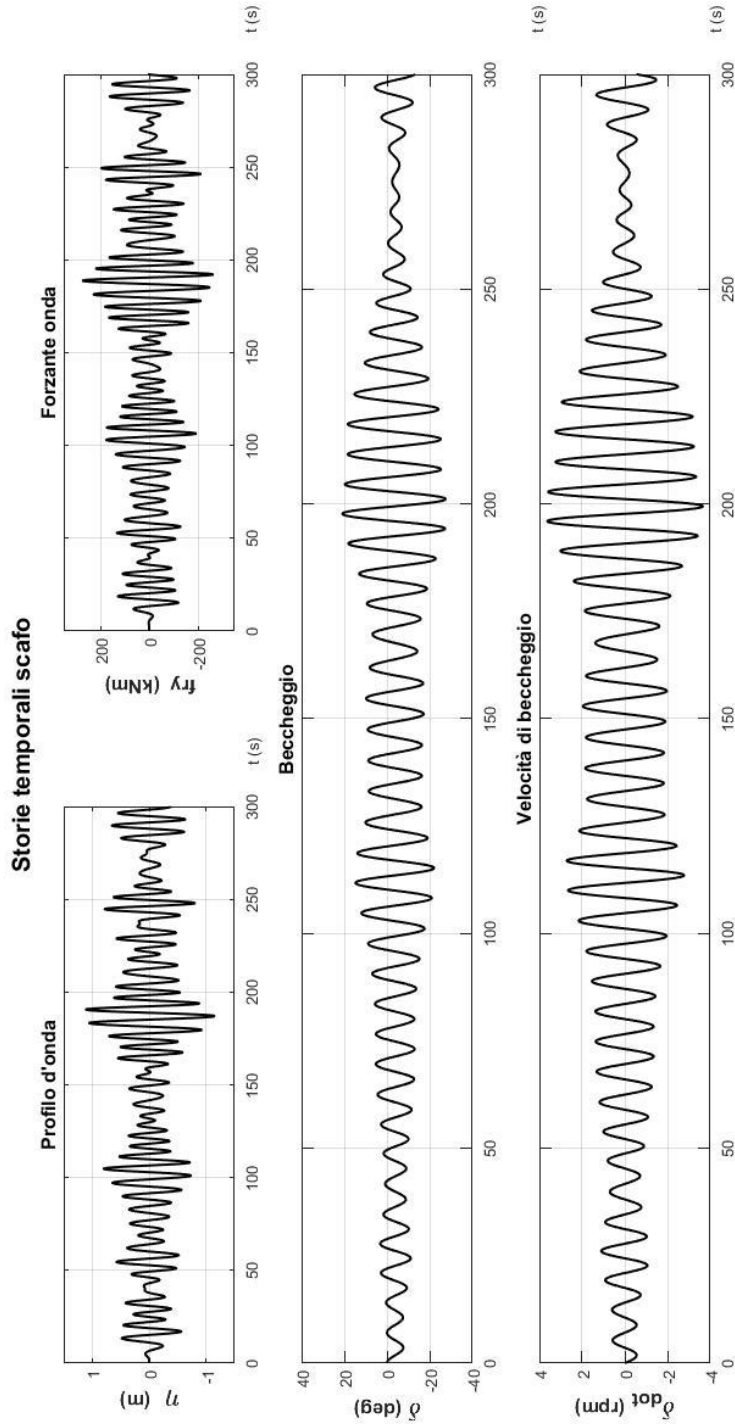
- Wave 64 - Te=6s Hs=2m



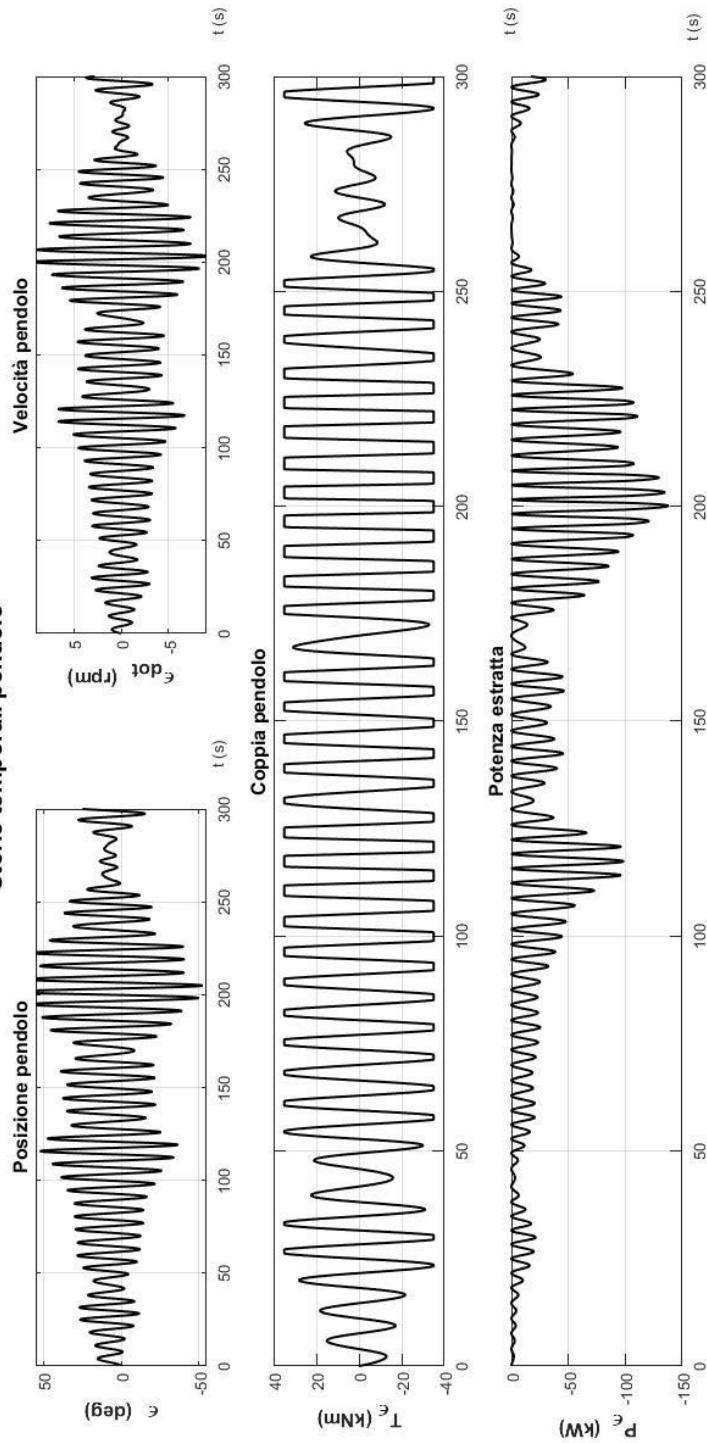
Storie temporali pendolo



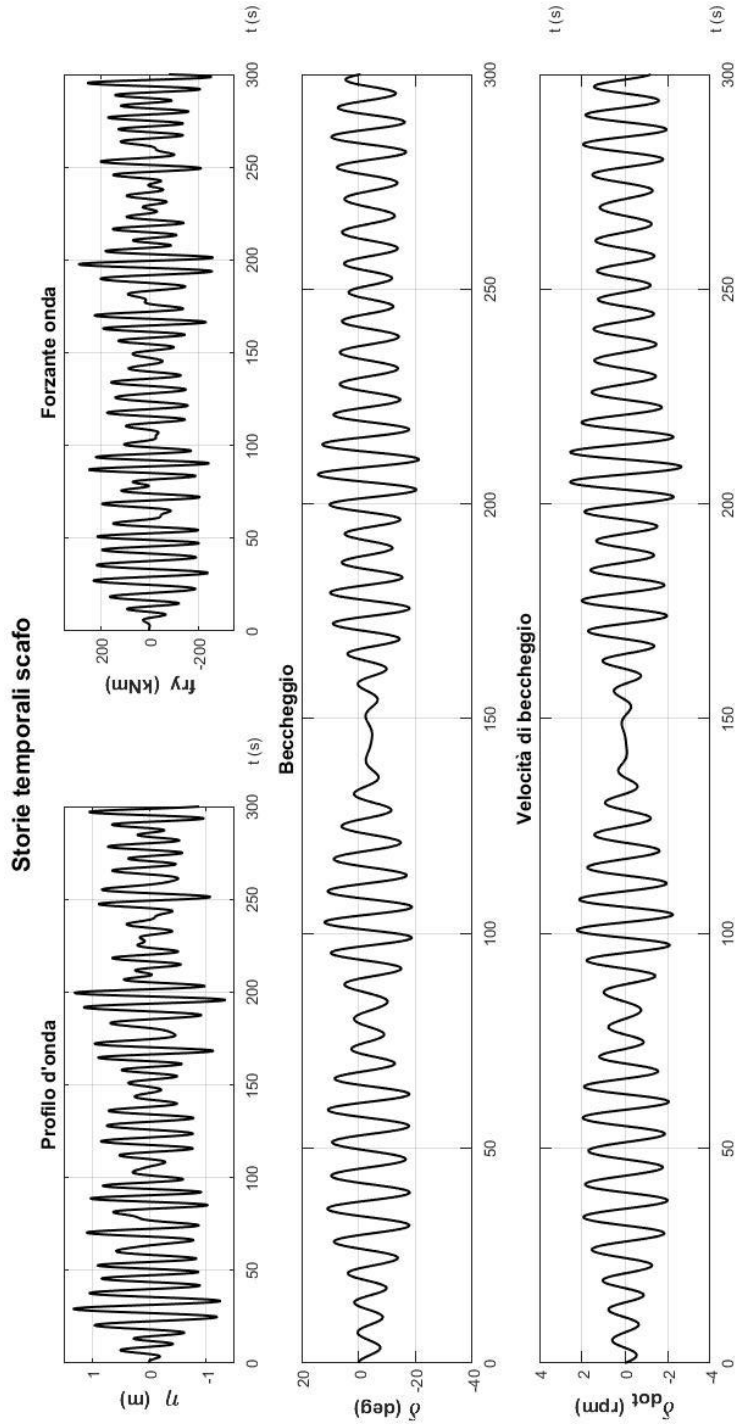
- Wave 47 - Te=7s Hs=1.5m



Storie temporali pendolo



- Wave 87 – Te=8s Hs=2.5m



Storie temporali pendolo

