PROGETTO OPEN SOURCE · REVISIONE 3.0

Macchina di prova biassiale

Banco a quattro attuatori per prove di trazione biassiale su tessuti e tele, nato per la ricerca e sviluppato per il mondo del restauro.



1,5 kN	600 mm	4	1–900 mm/min
FORZA PER ASSE	CORSA PER ASSE	ATTUATORI INDIPENDENTI	VELOCITÀ DI PROVA

PANORAMICA

Macchina per prove di trazione biassiale dedicata principalmente ai tessuti e alle tele dei dipinti. Quattro attuatori contrapposti sollecitano il campione lungo X e Y, insieme o separatamente, e ne misurano la risposta: dati utili a chi opera nel restauro per conoscere il comportamento dei materiali antichi.

La macchina nasce per il progetto di ricerca di dottorato di Antonio Iaccarino al Politecnico di Delft. La revisione 3.0 ne raccoglie l'esperienza in una macchina più robusta e più semplice da usare. Il progetto è open source.

CARATTERISTICHE PRINCIPALI

- **Quattro configurazioni**: biassiale, monoassiale X o Y, asse singolo per compressione e flessione
- **Una cella di carico per attuatore**, letta da una scheda Neuron Bridge a 24 bit
- **Controllo in posizione, in forza** e in retroazione di forza
- **Temperatura e umidità** registrate con forza e posizione
- **PLC CODESYS** su Raspberry Pi 4, OPC UA verso HMI e rete
- **Cortex Interface** su pannello touch da 13": ricette, grafici, report

01 · DATI TECNICI

Specifiche tecniche

Dati riferiti alla revisione 3.0 della macchina.

PRESTAZIONI

Configurazioni	Biassiale, monoassiale X, monoassiale Y, asse singolo
Forza massima	1,5 kN per asse; celle montate da 25 kg (≈ 245 N)
Corsa	300 mm per attuatore, 600 mm per asse
Velocità di prova	1–900 mm/min
Accelerazione massima	5000 mm/s²
Provini	10 × 10, 25 × 25, 100 × 100 mm
Distanza tra le prese	fino a 500 mm, secondo le prese montate

STRUTTURA E MECCANICA

Basamento	Doppia lamiera in acciaio da 3 mm, distanziata 40 mm con profili in alluminio 2040
Guide	A ricircolo di sfere HGR15
Trasmissione	Vite a ricircolo di sfere, passo 5 mm
Ingombro	1200 × 1200 × 300 mm

ATTUAZIONE

Attuatori	4 lineari, 2 contrapposti per asse
Motori	Leadshine iCS-RS2323, passo-passo ibridi a circuito chiuso, flangia NEMA 23
Coppia di tenuta	1,9 N·m
Alimentazione motori	36 V DC (20–50 V DC ammessi), picco 7,0 A
Encoder	Magnetico incrementale 14 bit, integrato
Risoluzione di posizionamento	0,01 mm
Funzioni del driver	Homing, limiti software, JOG, arresto rapido, 16 posizioni programmabili

MISURA

Forza	1 cella di trazione/compressione per attuatore
Accuratezza	0,05 % del fondo scala, risoluzione 0,05 N
Acquisizione	Neuron Bridge, ADC NAU7802 a 24 bit, 10–80 campioni/s
Posizione	Encoder dei motori, 0–300 mm per attuatore, risoluzione 0,5 µm
Ambiente	CWT-TH03S-H: -40…+120 °C ±0,5 °C; 0–100 % UR ±5 %
Registrazione	Forza e posizione ogni 50 ms, circa 20 campioni/s per canale

CONTROLLO E COMUNICAZIONE

PLC	Raspberry Pi 4 con runtime CODESYS 3.5
Modalità di controllo	Posizione, forza, retroazione di forza
Bus interno	Modbus RTU su RS485: 4 linee a 115.200 baud, più 1 linea per il sensore T/UR
Verso l'esterno	Server OPC UA, Ethernet, USB, accesso remoto dalla rete locale
HMI	Pannello touch 13", Cortex Interface
Software	Ricette di prova, grafici forza-spostamento, report automatico, esportazione CSV, multilingue

ALIMENTAZIONE E AMBIENTE

Alimentazione	Monofase 110/230 V, 50/60 Hz
Potenza installata	1 kW
Protezione a monte	Interruttore differenziale
Condizioni d'esercizio	Laboratorio al chiuso, 10–35 °C, 0–70 % UR senza condensa

02 · CONFIGURAZIONI

Configurazioni di prova

Quattro configurazioni, selezionabili dal pannello operatore. In tutte la velocità di prova va da 1 a 900 mm/min.

CONFIGURAZIONE	ATTUATORI	TIPO DI PROVA	CONTROLLO	FORZA	CORSA
Biassiale	4, assi X e Y	Trazione biassiale	Posizione, forza, retroazione di forza	1,5 kN per asse	600 mm per asse
Monoassiale X	2, asse X	Trazione	Posizione, forza	1,5 kN	600 mm
Monoassiale Y	2, asse Y	Trazione	Posizione, forza	1,5 kN	600 mm
Asse singolo	1	Compressione e flessione, contro una torretta fissa	Posizione, forza	1,5 kN	300 mm

Le prese a morsetto afferrano il provino sui quattro lati e sono disponibili per provini da 10, 25 e 100 mm. Durante il montaggio la parte centrale del supporto si solleva fino al piano delle prese e tiene il provino in posizione fino alla chiusura dei morsetti; prima della prova si riabbassa.

03 · MISURA DELLA FORZA

Acquisizione con Neuron Bridge

Ogni cella di carico è letta da una scheda Neuron Bridge dedicata, montata sul carrello dell'attuatore: il segnale analogico percorre pochi centimetri prima di essere convertito e inviato al PLC via Modbus RTU.

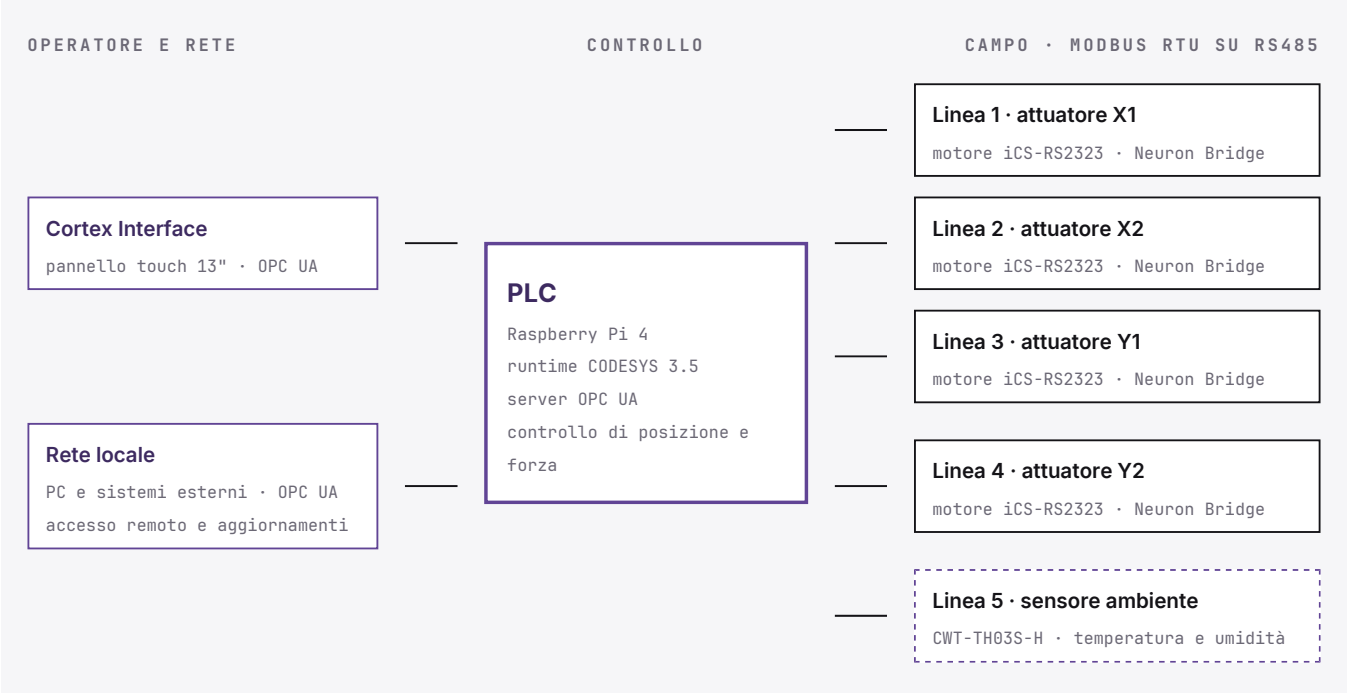
CONVERSIONE	
Schede	4, una per attuatore
Convertitore	NAU7802, ADC sigma-delta 24 bit, fino a 23 bit effettivi
Ingresso	Ponte estensimetrico differenziale
Guadagno	Programmabile da 1 a 128
Eccitazione della cella	Regolatore interno programmabile 2,4–4,5 V
Campionamento	10–80 campioni/s, selezionabile

QUALITÀ DEL SEGNALE E USCITA	
Rumore RMS (guadagno 128)	50 nV a 10 campioni/s; 150 nV a 80 campioni/s
Reiezione della rete	50 e 60 Hz simultanee, fino a -90 dB
Non linearità integrale	±0,0015 % del fondo scala dopo la calibrazione
Calibrazione	Offset e guadagno interni, poi con forze di riferimento
Filtri digitali	Media piramidale, media mobile, scarto dei valori anomali; finestra configurabile
Uscita	Modbus RTU su RS485, 115.200 baud, forza in N

04 · ARCHITETTURA

Architettura di controllo

Un PLC CODESYS su Raspberry Pi 4 coordina quattro istanze indipendenti, una per ogni coppia motore e cella di carico, ciascuna sulla propria linea RS485. Verso l'operatore e la rete la macchina comunica in OPC UA.



Le linee 1–4 lavorano in parallelo a 115.200 baud, ciascuna condivisa solo dal motore e dalla scheda Neuron Bridge del proprio attuatore; uno scambio con un driver richiede circa 3 ms. Il PLC sincronizza i quattro assi.

05 · SOFTWARE

Software e comunicazione

FUNZIONE	DESCRIZIONE
Server OPC UA	Integrato nel runtime CODESYS, profilo di sicurezza Basic256Sha256
Dati esposti	Comandi di prova, setpoint, stato della macchina, forze, posizioni, temperatura e umidità, allarmi
Ricette	Profili di prova salvati e richiamabili dal pannello operatore
Prova in tempo reale	Forze e posizioni dei quattro assi su grafici forza–spostamento
Report ed esportazione	Report di prova automatico; dati in CSV
Diagnostica	Stato e allarmi dei driver letti via Modbus e mostrati sul pannello
Lingua	Interfaccia multilingue
Configurazione dei driver	Leadshine MotionStudio, tramite la porta RS232 dei driver (assistenza)

06 · SICUREZZA

Sicurezza

Funzioni e dispositivi di sicurezza della revisione 3.0.

- **Arresto di emergenza** con pulsante a fungo.
- **Limiti software** di forza, corsa e velocità, impostabili dal pannello e attivi anche nei driver dopo l'homing.
- **Modalità di manutenzione** a velocità ridotta.
- **Finecorsa hardware** su ogni attuatore.
- **Arresto per sovraccarico** al superamento della soglia impostata sulla cella di carico.
- **Protezioni dei driver**: sovracorrente, sovratensione, errore di inseguimento.

07 · PROGETTO

Un progetto open source

Le prime due revisioni della macchina sono state utilizzate da Antonio Iaccarino per il suo progetto di ricerca di dottorato al Politecnico di Delft. La revisione 3.0 ne raccoglie l'esperienza ed è già stata impiegata per provare campioni di tele antiche.

Il progetto è open source, con l'obiettivo di far crescere attorno alla macchina una comunità di restauratori, ricercatori e laboratori che possano utilizzarla, migliorarla e condividere metodi e risultati.

Progettazione e realizzazione	**Luca Cortelli**
Protocolli di prova e validazione	**Antonio Iaccarino**

08 · REVISIONI

REVISIONE	DATA	NOTE
Documento A	16/11/2026	Prima emissione
Macchina 3.0	2026	Revisione attuale
Macchina 1.0–2.0	—	Ricerca di dottorato, Politecnico di Delft

I dati si riferiscono alla revisione 3.0 e possono cambiare con l'evoluzione del progetto. La versione aggiornata di questo documento è disponibile su cortexautomations.com. Marchi e nomi citati appartengono ai rispettivi proprietari.