

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Ferrara

INFN/TC-95/22

9 Agosto 1995

V. Carassiti, A. Gianoli, F. Petrucci, M. Savriè, S. Bigoni, G. Bonora, S. Chiozzi,
F. Evangelisti, M. Melchiorri, L. Milano:

**UNA MACCHINA AUTOMATICA PER LA PRODUZIONE DEGLI
ELETTRODI DEL CALORIMETRO A KRYPTON LIQUIDO
DELL'ESPERIMENTO NA48**

**UNA MACCHINA AUTOMATICA PER LA PRODUZIONE DEGLI ELETTRODI DEL
CALORIMETRO A KRYPTON LIQUIDO DELL'ESPERIMENTO NA48**

V. Carassiti, A. Gianoli, F. Petrucci, M. Savriè, S. Bigoni, G. Bonora, S. Chiozzi,
F. Evangelisti, M. Melchiorri, L. Milano

Sezione INFN e Dipartimento di Fisica dell'Università di Ferrara, Via Paradiso 12, I-44100
Ferrara Italy

Abstract

La collaborazione NA48, sta preparando un nuovo esperimento al CERN per lo studio della violazione di CP. Il calorimetro elettromagnetico a krypton liquido utilizzato nell'esperimento, ha una struttura di lettura che utilizza elettrodi realizzati con nastri metallici di una lega rame-berillio (98% di Cu e 2% di Be) [1]. Il numero di elettrodi (30000), il loro controllo geometrico e le tolleranze di lavorazione imposte, hanno richiesto la costruzione di una macchina automatica per garantire sia i tempi, che la qualità di produzione degli elettrodi.

1. Struttura del calorimetro e descrizione degli elettrodi

Il calorimetro ha un sistema di lettura basato su elettrodi messi alla tensione meccanica di 2,5 N fra due flange di estremità' (fig.1). Gli elettrodi sono ottenuti da nastri di CuBe2 (Matthey S.A., CH 2520 La Neuveville). aventi le seguenti dimensioni: lunghezza = 1290 mm, larghezza = 18 mm, spessore = 0.04 mm. Ad una estremità' l'elettrodo e' formato da una molla e da un connettore in ottone (Calor Press, Zola Predosa BO) costituito da due parti fissate al nastro per saldatura e spinatura. Il connettore, oltre al contatto elettrico, permette di effettuare anche la regolazione della tensione di trazione dell'elettrodo tramite la parte filettata del gambo. All'estremità' opposta, l'elettrodo ha una molla e due fori di posizionamento e fissaggio ai supporti di ancoraggio della flangia di ingresso del calorimetro (figg.2,3,4).

Gli elettrodi hanno distanza di 10 mm nella direzione trasversale, mentre sono distanti 2 mm nella direzione verticale. La matrice che si ottiene e' costituita da 13500 celle, ognuna delle quali e' formata da tre elettrodi di cui quello centrale funge da anodo, mentre i due laterali fungono da catodi. Ogni cella ha dimensione di 20×20 mm².

Cinque spaziatori interposti fra le due flange di estremita', consentono di ottenere una struttura a zig-zag degli elettrodi con un angolo di inclinazione di 50 mrad su una lunghezza di 208 mm, garantendo il rispetto della geometria delle celle. Le flange di estremita' e gli spaziatori, sono sostenuti da sbarre di rame-berillio. La distanza fra due spaziatori, e' definita da tubi di acciaio inox infilati nelle sbarre ed interposti fra gli spaziatori stessi.

Il materiale con cui sono fatte le flange di estremita' e gli spaziatori, e' STESALIT 4411W; esso e' un composito con buone caratteristiche meccaniche, elettriche e criogeniche, costituito da resina epossidica rinforzata con fibra di vetro (Stesalit A.G., CH Zullwill).

La flangia di ingresso ha sedi a coda di rondine. Gli elettrodi vengono assemblati fra due sbarrette (reglettes) di stesalit 4411W serrate alla pressa, le quali vengono infilate nelle sedi della flangia di ingresso permettendo il fissaggio dei nastri (fig.5).

La flangia di uscita ha sedi rettangolari fresate, con fori passanti alla distanza di 20 mm in direzione verticale, per permettere l'uscita del connettore di ottone. Gli spaziatori hanno sedi passanti di dimensione $18,5 \times 5$ mm², in modo da permettere il passaggio dei nastri e dei connettori.

Le molle ricavate all'estremita' degli elettrodi, permettono di compensare l'effetto di contrazione del nastro dovuto al raffreddamento piu' veloce rispetto alle altre parti del calorimetro, evitando di sovraccaricare le flange di estremita' e gli spaziatori; esse permettono inoltre, di compensare sia l'effetto di conicita' sullo sviluppo assiale del calorimetro, che gli errori di posizione e di orientazione dovuti alla deformazione di flange e spaziatori sotto il carico di lavoro.

2. Specifiche

Le operazioni ed i controllo della macchina di produzione, sono state fissate in base alle caratteristiche degli elettrodi:

- a) Le tolleranze geometriche di sagitta e planarita' hanno richiesto un sistema di controllo della geometria del nastro;
- b) le molle alle due estremita' del nastro sono state formate per stampaggio a freddo;
- c) l'assemblaggio connettore-nastro ha richiesto il posizionamento dei connettori, la saldatura, la foratura e la spinatura;
- d) il taglio a misura ha comportato il tensionamento meccanico del nastro, la tranciatura e la foratura;

e) l'alimentazione del nastro da bobina ha richiesto il disaccoppiamento dell'inerzia della bobina dall'avanzamento del nastro.

La produzione e' stata di 300 elettrodi/giorno per un totale di 30000 elettrodi.

3. Controllo geometrico del nastro

Il controllo geometrico deve essere in grado di verificare che la geometria del nastro rientri nelle tolleranze richieste dalle specifiche (fig.6).

Il sistema e' ottenuto tenendo fisso il tratto di nastro da misurare su un piano di vetro illuminato da una sorgente al neon situata dalla parte opposta rispetto al nastro.

La strumentazione di acquisizione e' mobile e permette di controllare una lunghezza utile di 1500 mm, sufficiente per testare l'intero elettrodo (fig.7).

Il movimento e' ottenuto tramite una guida lineare equipaggiata con stepping motor ed encoder.

Una scheda dedicata, comanda e controlla sia i movimenti della guida che l'acquisizione della geometria del nastro.

Il sistema ha una velocita' di traslazione di 5 cm/sec, lontano dai valori di velocita' critica di innesco delle vibrazioni autoeccitate.

La linearita' del nastro, e' controllata da un array lineare di pixels (CCD) che tramite un sistema ottico acquisiscono la forma del nastro per contrasto con la zona illuminata. I pixels sono 5000 su una lunghezza di 35 mm; la risoluzione e' di 7 μm /pixel.

I punti vengono acquisiti ogni 15 mm ai bordi opposti del nastro; i bordi corrispondono alle zone di transizione tra la parte di vetro illuminata e quella oscurata dal nastro (fig.8).

In totale vengono acquisiti 100 punti ad ogni bordo, i quali vengono confrontati per differenza con i corrispondenti punti della curva di calibrazione; con i valori ottenuti viene calcolato il fit lineare ed il valore degli scarti rispetto ad esso, per il controllo di accettazione.

La planarita' del nastro e' verificata con un sistema formato da tre laser equipaggiati di lente cilindrica, che indirizzano la luce in tre differenti posizioni in direzione della larghezza del nastro; un obiettivo raccoglie i fasci riflessi (fig.9), la distanza relativa dei quali varia funzione della planarita' del nastro stesso.

Una superficie di calibrazione, fornisce la posizione di confronto.

4. Assemblaggio connettore-nastro

L'assemblaggio fra l'estremita' del nastro ed il connettore avviene in maniera automatica; l'unica operazione manuale richiesta e' il posizionamento del connettore chiamato back domino, sul portapezzi solidale all'elettrodo inferiore della saldatrice (fig.10).

L'estremita' del nastro viene portata nella posizione di assemblaggio sul connettore back domino, tramite una pinza movimentata da un sistema di guide lineari pneu-

matiche.

La piastrina corrispondente al pezzo superiore del connettore, viene prelevata da un alimentatore lineare a vibrazione (Vegetti G.E., Ospiate di Bollate MI) e messa in posizione con un sistema simile a quello utilizzato per il nastro (fig.12).

Terminati i posizionamenti, parte l'operazione di saldatura, la quale rende solidali le due parti dell'elettrodo con l'estremità del nastro.

Il tipo di saldatura utilizzato è a punti, i quali sono ottenuti ricavando due proiezioni sulla piastrina superiore del connettore (fig.4).

Gli elettrodi, le proiezioni ed i parametri di saldatura, sono stati ottimizzati in collaborazione con la ditta fornitrice della saldatrice (Messer Griesheim, PECO Monaco, D); la corrente di saldatura richiesta agli elettrodi è di 15 KA con una tensione di 5 V; la pressione di serraggio degli elettrodi è di 50 daN.

La resistenza a trazione ottenuta sulla giunzione è sempre maggiore di 20 daN e quindi parecchio superiore al carico nominale di lavoro di 2,5 N.

Per garantire la giunzione dalla comparsa di eventuali difetti anche in una sola delle saldature, a montaggio del calorimetro avvenuto, viene inserita una spina accoppiata per interferenza al connettore ed al nastro.

Lo sforzo di inserimento è di 350 daN con 0,02 mm di interferenza.

5. Formatura delle molle

Le molle dell'elettrodo, sono ricavate per stampaggio a freddo direttamente sul nastro.

L'attrezzatura è costituita da due ruote dentate che ingranano col nastro interposto tra di esse; queste ruotano della quantità necessaria ad ottenere le molle con le caratteristiche geometriche richieste.

I movimenti di ingranamento e rotazione sono ottenuti tramite due cilindri pneumatici che comandano le guide lineari di supporto dell'attrezzatura (fig.13).

Una pinza movimentata da un sistema di guide lineari pneumatiche, porta il nastro in zona di stampaggio (fig.14).

La molla situata dalla parte del connettore, ha una costante elastica $K_b = 1 \text{ N/mm}$, mentre quella della molla situata all'estremità opposta vale $K_f = 2 \text{ N/mm}$.

Definito il materiale della molla, la sua geometria ne definisce le caratteristiche di elasticità e resistenza.

La forma dei denti e delle ruote, è stata studiata in modo da ottenere le caratteristiche elastiche di progetto, nel rispetto degli ingombri imposti (fig.15).

Gli sforzi richiesti dallo stampaggio sono di 30 daN alla pressione di 6 bar.

Dopo la formazione delle molle, il nastro non subisce trattamenti termici di distensione; questo per evitare che il rilascio delle tensioni comprometta il rispetto delle tolleranze geometriche.

A questo scopo, sono stati fissati con la ditta produttrice, i parametri di trattamento termico atti a permettere la deformazione necessaria allo stampaggio delle molle con il minimo incrudimento residuo.

I test di fatica a carico alterno ai quali sono state sottoposte le molle, hanno mostrato

la conservazione delle caratteristiche iniziali di elasticità anche dopo qualche milione di cicli, garantendo un elevatissimo coefficiente di sicurezza rispetto alle condizioni di esercizio.

Dopo la formazione delle molle, l'elettrodo viene portato ad una tensione meccanica di trazione di 5 N per uniformare le eventuali differenze di stampaggio; dopo 10 secondi, la tensione meccanica viene ridotta a 2 N ed il nastro viene tranciato alla lunghezza di 1275 mm, e forato per permettere l'ancoraggio del medesimo alla struttura del calorimetro.

6. Alimentazione del nastro

Le zone di controllo e di lavoro, vengono alimentate in maniera continua da una bobina.

La bobina è disaccoppiata dal sistema di trazione del nastro tramite un'ansa, la cui posizione di equilibrio è controllata da una barriera di raggi infrarossi (fig.16).

La posizione dell'ansa è rilevata da un sistema a microprocessore che comanda un motoriduttore; lo svolgimento e l'avvolgimento del nastro, dipendono dalla posizione dell'ansa rispetto al suo punto di equilibrio.

7. Ciclo di lavoro e gestione del sistema

La fig.17 mostra il lay-out generale della macchina.

Il ciclo inizia depositando manualmente il back domino sul portapezzi solidale all'elettrodo inferiore della saldatrice (fig.10); prima di trasportare con la pinza il nastro sul back domino, vengono eseguite la tranciatura a misura dalla parte del connettore (fig.11) ed i controlli di sagitta e planarità (figg.7,8,9).

In base ai risultati del controllo geometrico, se il nastro non è accettabile, vengono inibite le operazioni successive e viene scartato un tratto corrispondente alla lunghezza di un elettrodo; nel caso opposto, le operazioni proseguono con il posizionamento automatico di nastro e blocchetto nella zona di saldatura (fig.12); viene quindi eseguito l'assemblaggio nastro-connettore per saldatura, poi il nastro viene ripreso da una seconda pinza e trasportato in posizione per la formatura delle molle (fig.14).

Dopo la formazione delle molle, si ha il tensionamento meccanico a 5 N per la omogeneizzazione dei difetti di stampaggio (10 secondi ca.); la tensione viene poi ridotta a 2 N ed il nastro, mantenendo questo valore, viene tranciato e trasportato tramite una guida laterale alla stazione di foratura (fig.18), per l'esecuzione di un foro calibrato; terminata l'operazione, il nastro viene portato tramite la guida laterale, alla stazione di spinatura (Vegetti G.E., Ospiate di Bollate MI) (fig.19); dopo l'inserimento della spina, all'estremo opposto il nastro viene forato e tranciato a misura (fig.20), per poi passare allo stoccaggio.

La gestione ed il controllo del sistema sono affidati ad un PC con microprocessore 80486 dotato di 4 Mb di RAM, 200 Mb di Hdisk ed espansione I/O per l'accesso al bus dedicato alle seguenti schede:

- 3 schede di output per il comando delle elettrovalvole di alimentazione dei cilindri pneumatici (48 canali);
- 4 schede di input per il controllo dei fincorsa degli attuatori (64 canali);
- 1 scheda per la lettura degli encoders;
- 1 scheda per il controllo degli assi (anello chiuso);
- 1 scheda per il controllo e la lettura dei CCD .

Il software, sviluppato in linguaggio C, e' diviso in due moduli:

- un modulo di background che esegue lo scan continuo del sistema e controlla sia l'anello chiuso dei motori che l'acquisizione dei CCD;
- un modulo di gestione del ciclo di lavoro e di archiviazione del file dati relativo alle caratteristiche geometriche di ogni nastro prodotto.

Il progetto globale, la realizzazione dei disegni, delle schede, dei prototipi e del software di gestione e controllo, sono stati realizzati all'interno delle strutture meccanica ed elettronica della sezione.

La costruzione e l'assemblaggio della meccanica della macchina e' stata realizzata dalla ditta CINEL strumenti scientifici, Vigonza PD.

8. Riferimenti

- [1] G.D.Barr et al., "Performance of an electromagnetic liquid krypton calorimeter based on a ribbon electrode tower structure", CERN-PPE/95

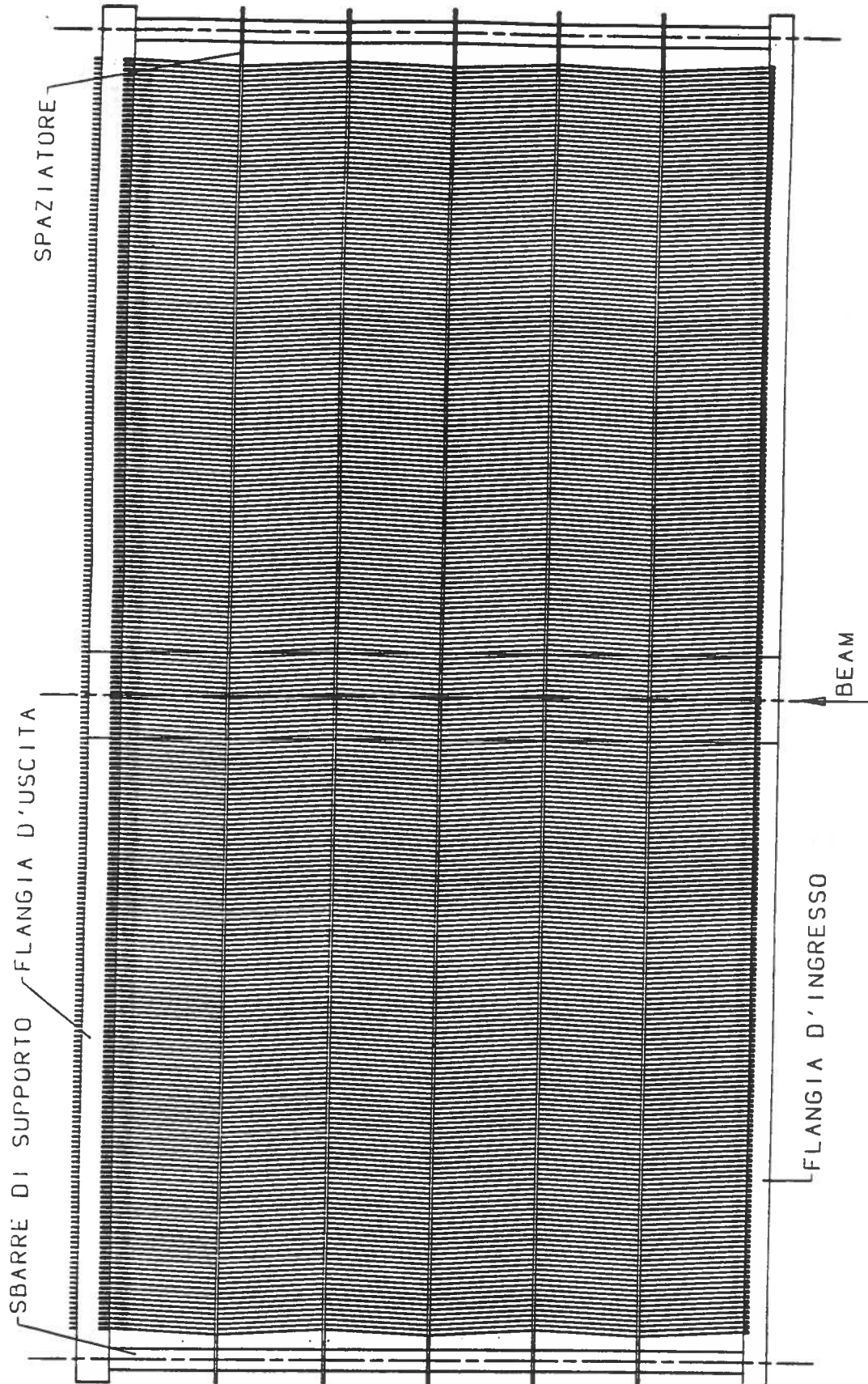


Fig.1 Vista dall'alto del Calorimetro

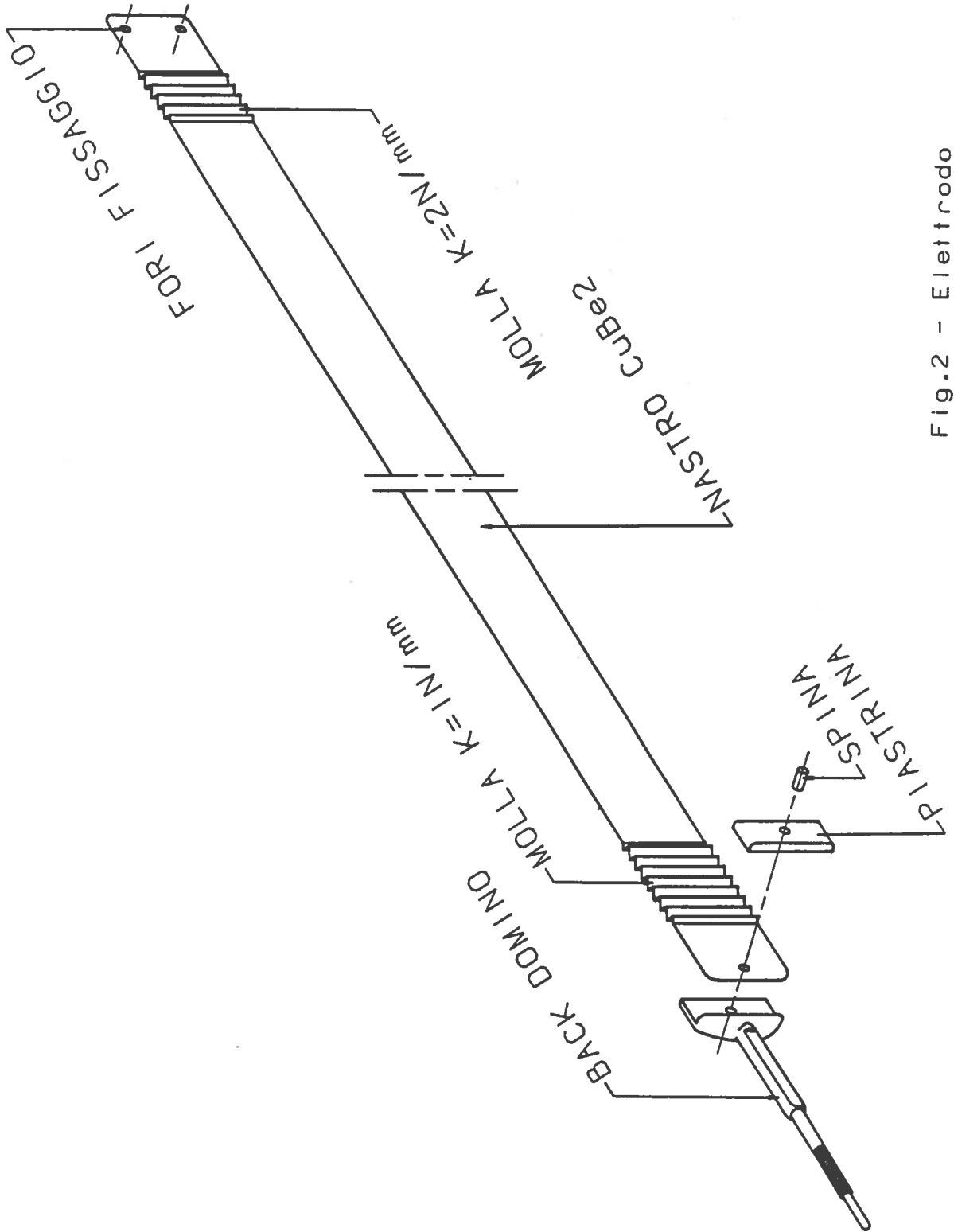


Fig.2 - Elettrodo

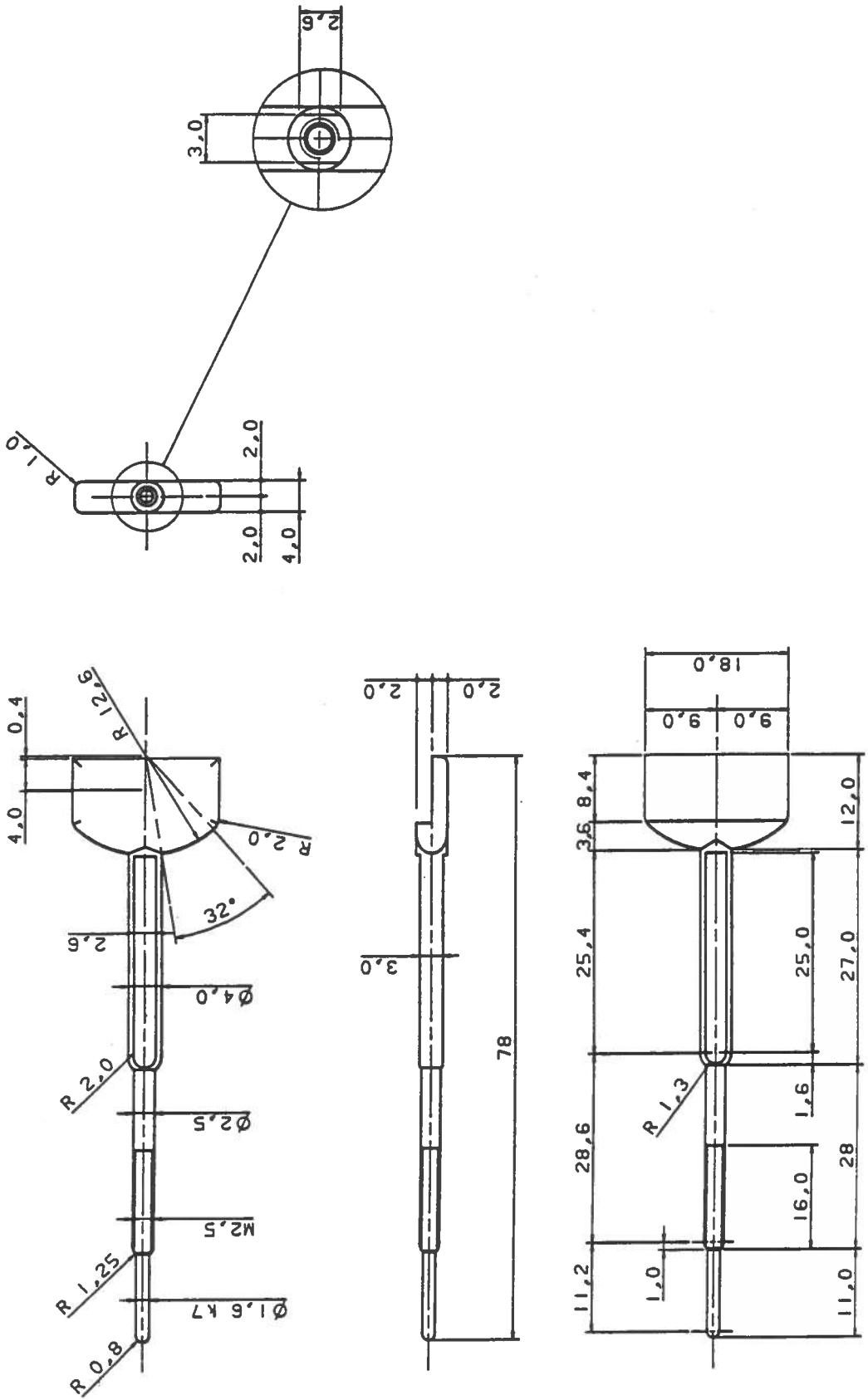


Fig.3 - Back Domino

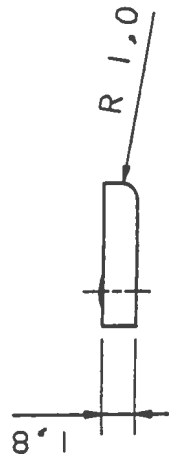
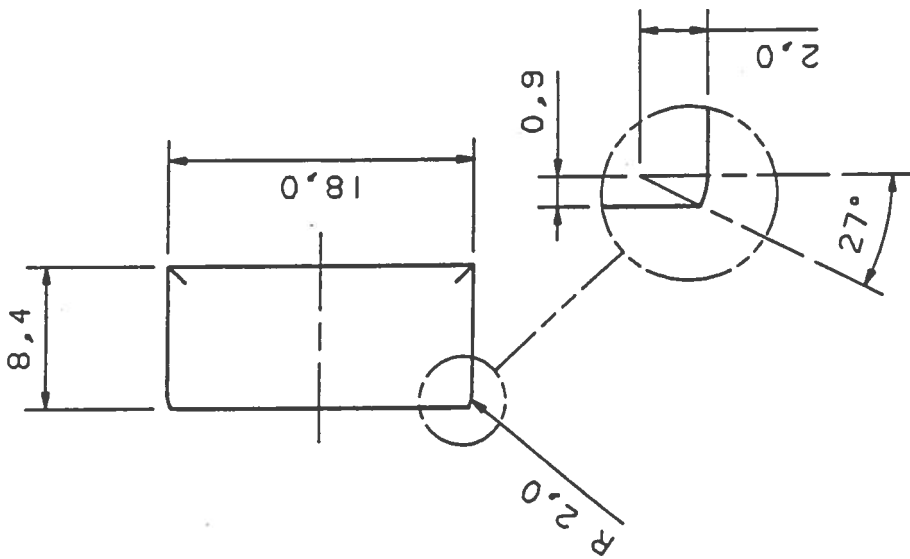
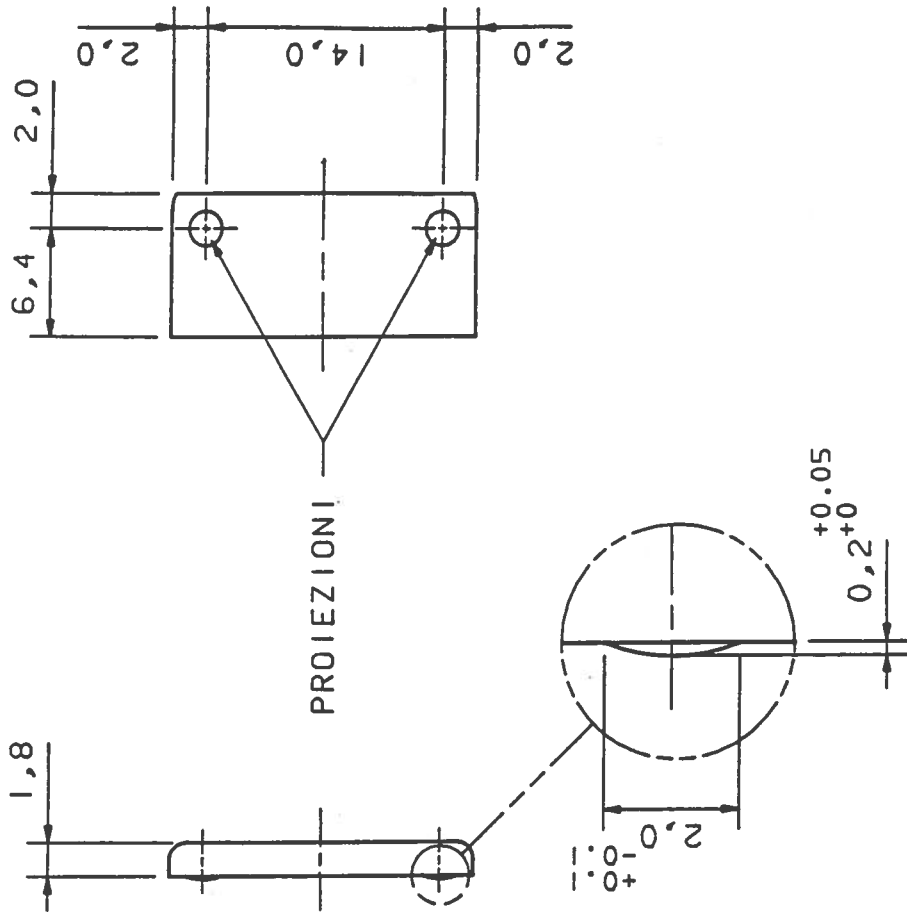


Fig.4 - Piastrina

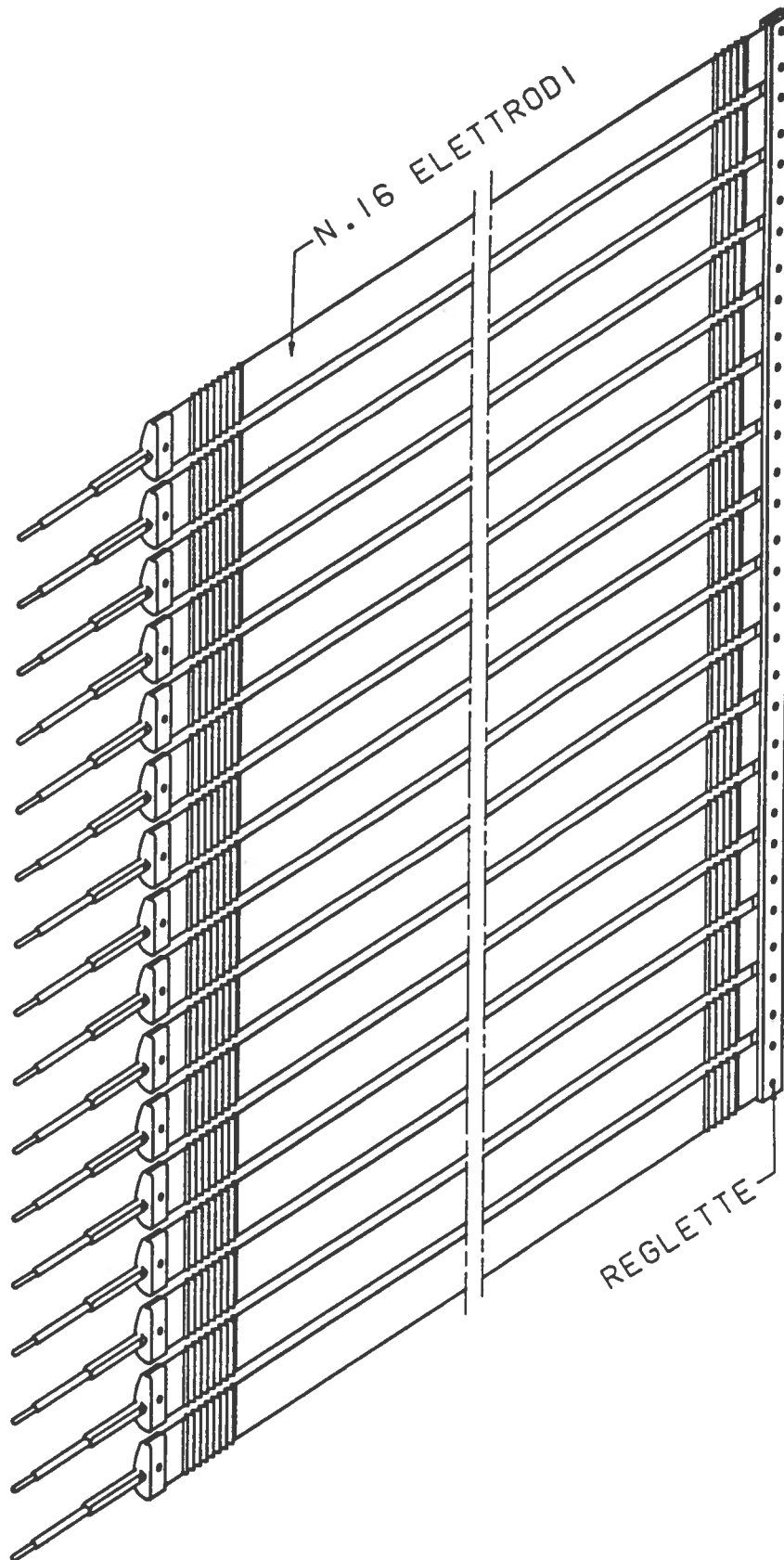
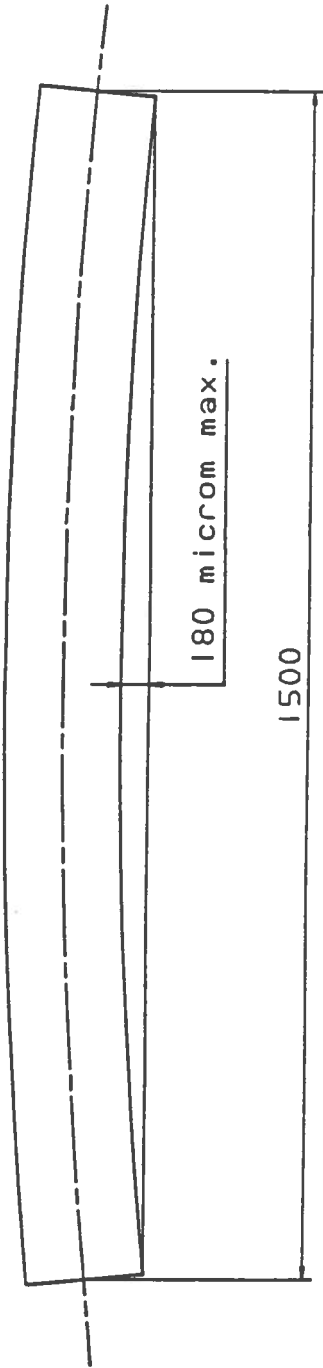
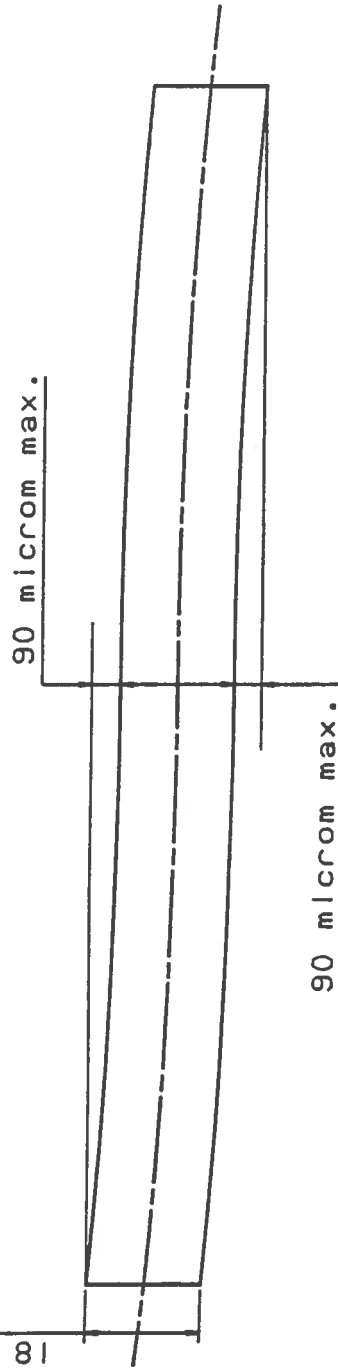


Fig.5 - Assemblaggio elettrodi/reglette



SAGITTA

18 + / - 0,1



PLANARITA'

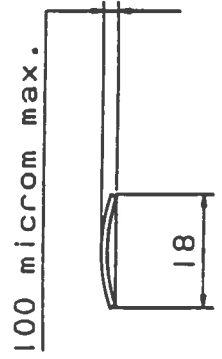


Fig.6 - Tolleranze geometriche del nastro

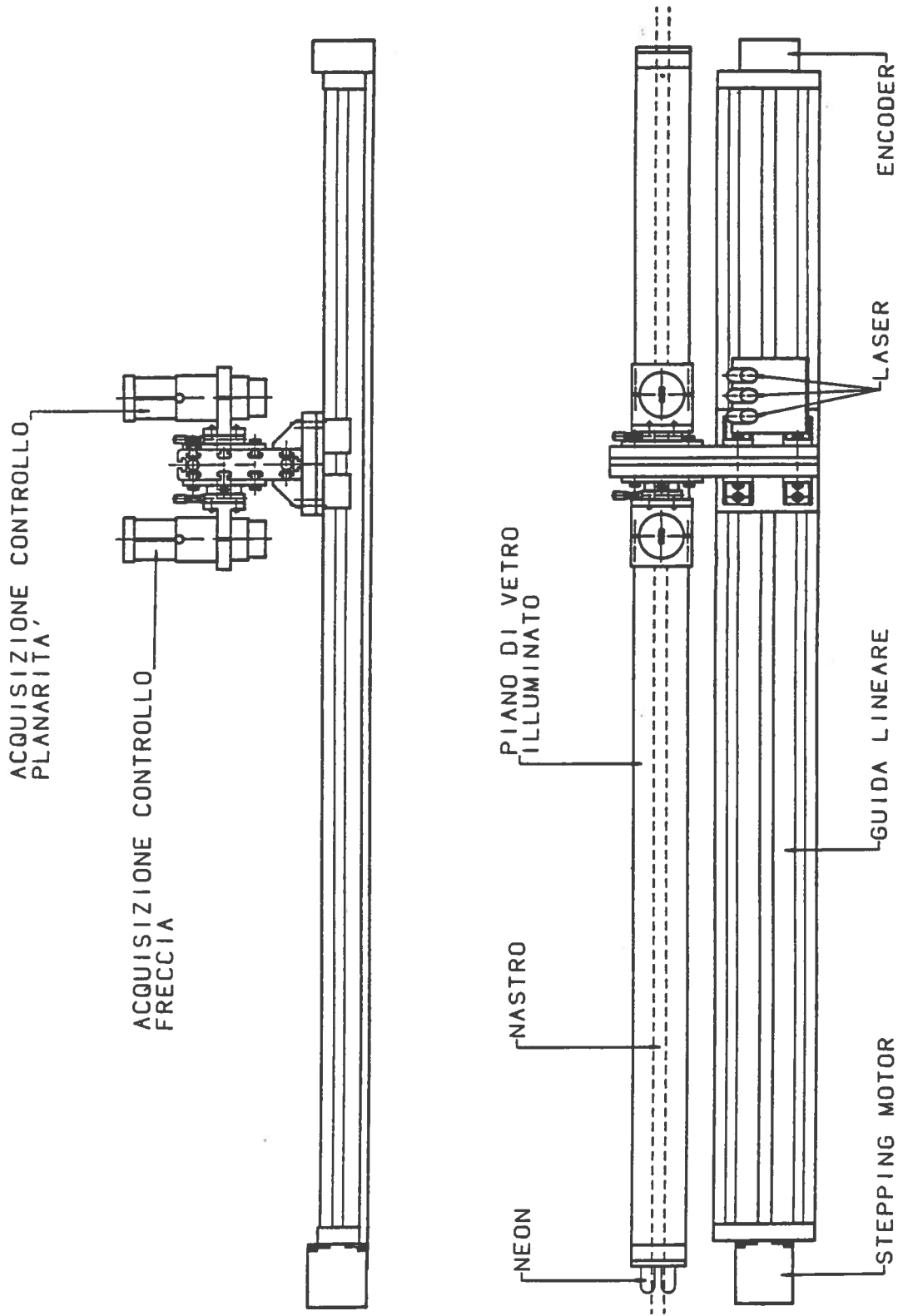


Fig.7 - Sistema di acquisizione per il controllo geometrico del nastro

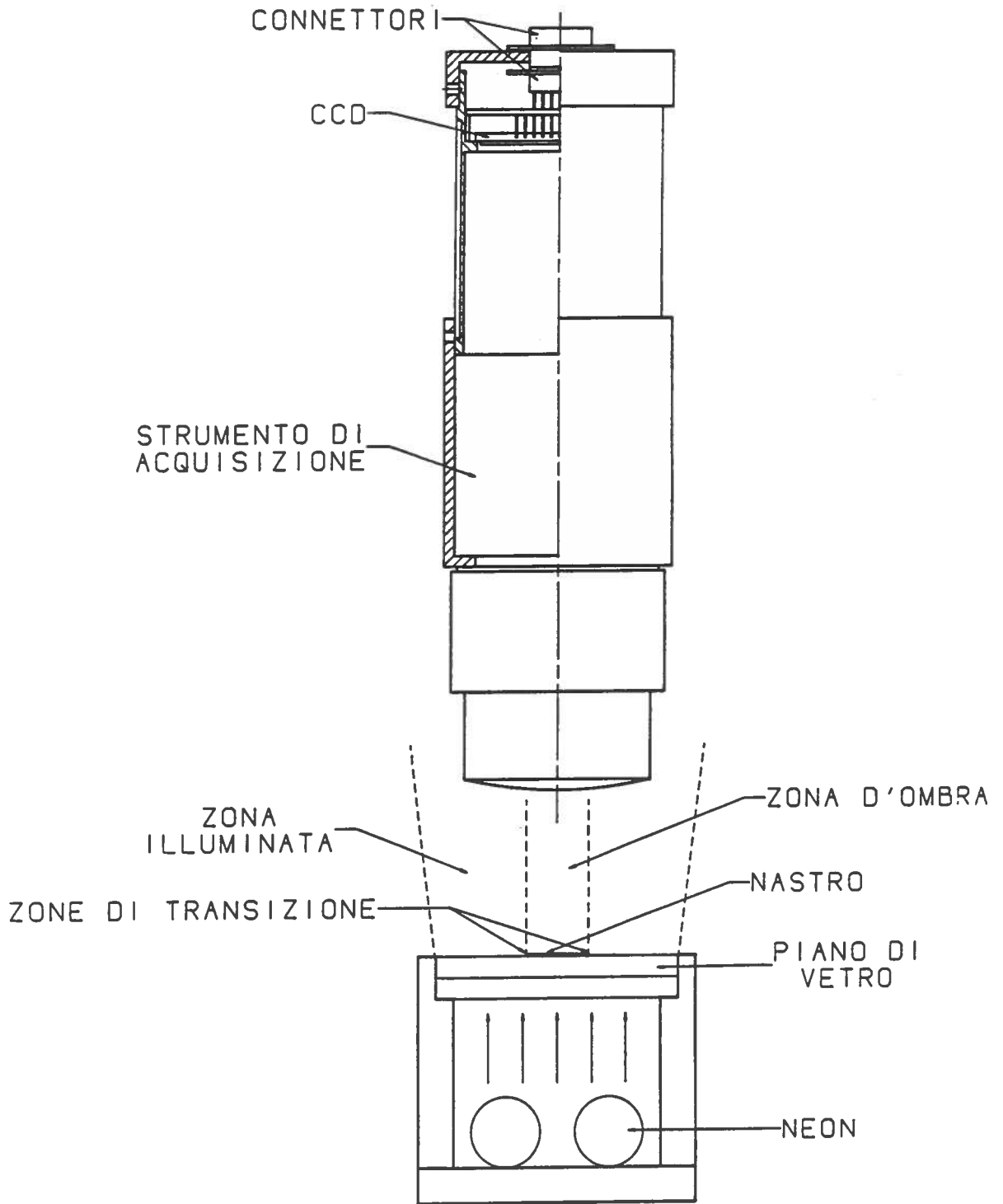


Fig.8 - Acquisizione per il controllo della linearita' del nastro

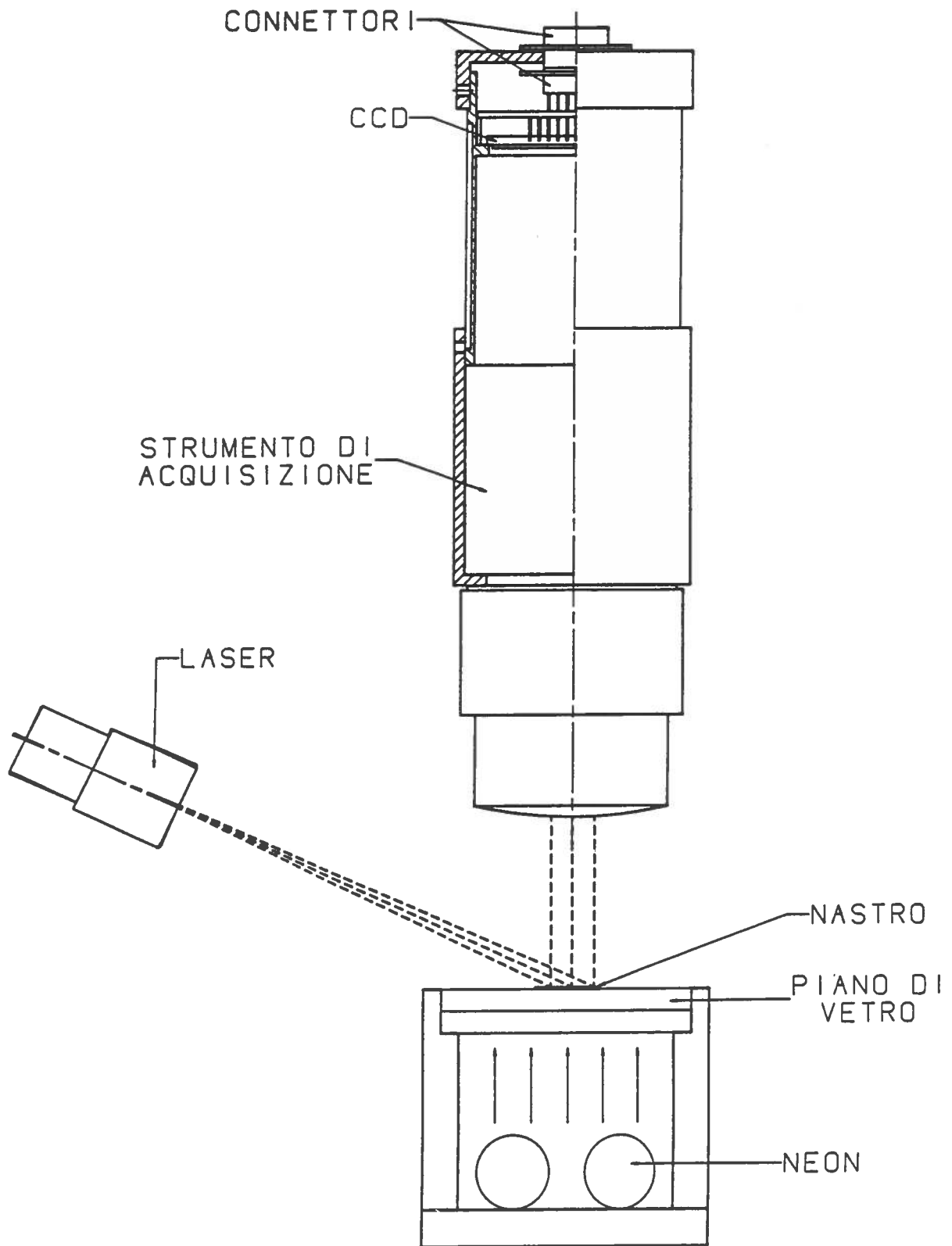


Fig.9 - Acquisizione per il controllo della planarita' del nastro

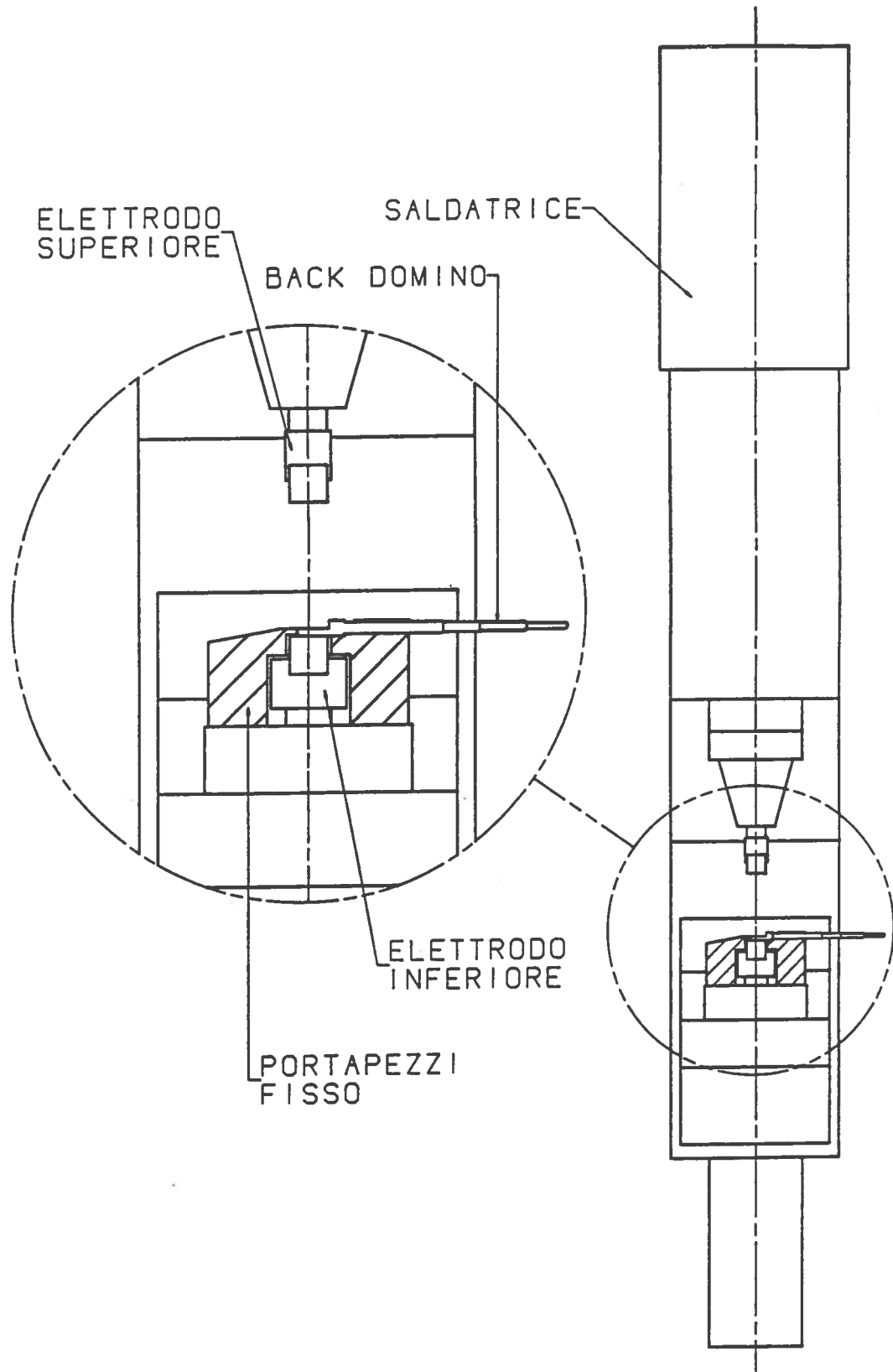


Fig.10 - Posizionamento del Back Domino sul portapezzi fisso

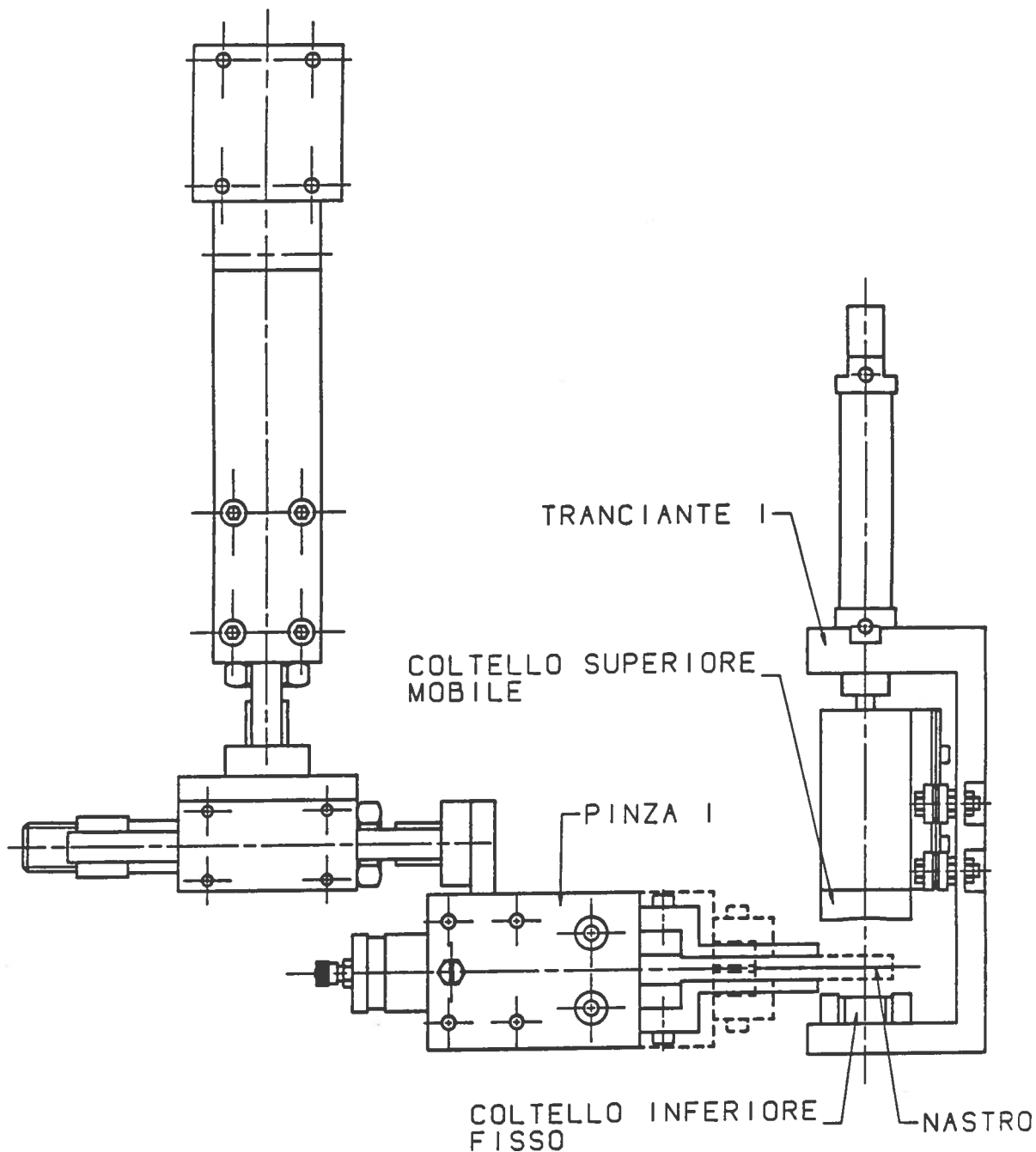


Fig.11 - Tranciatura del nastro
all'estremo del connettore

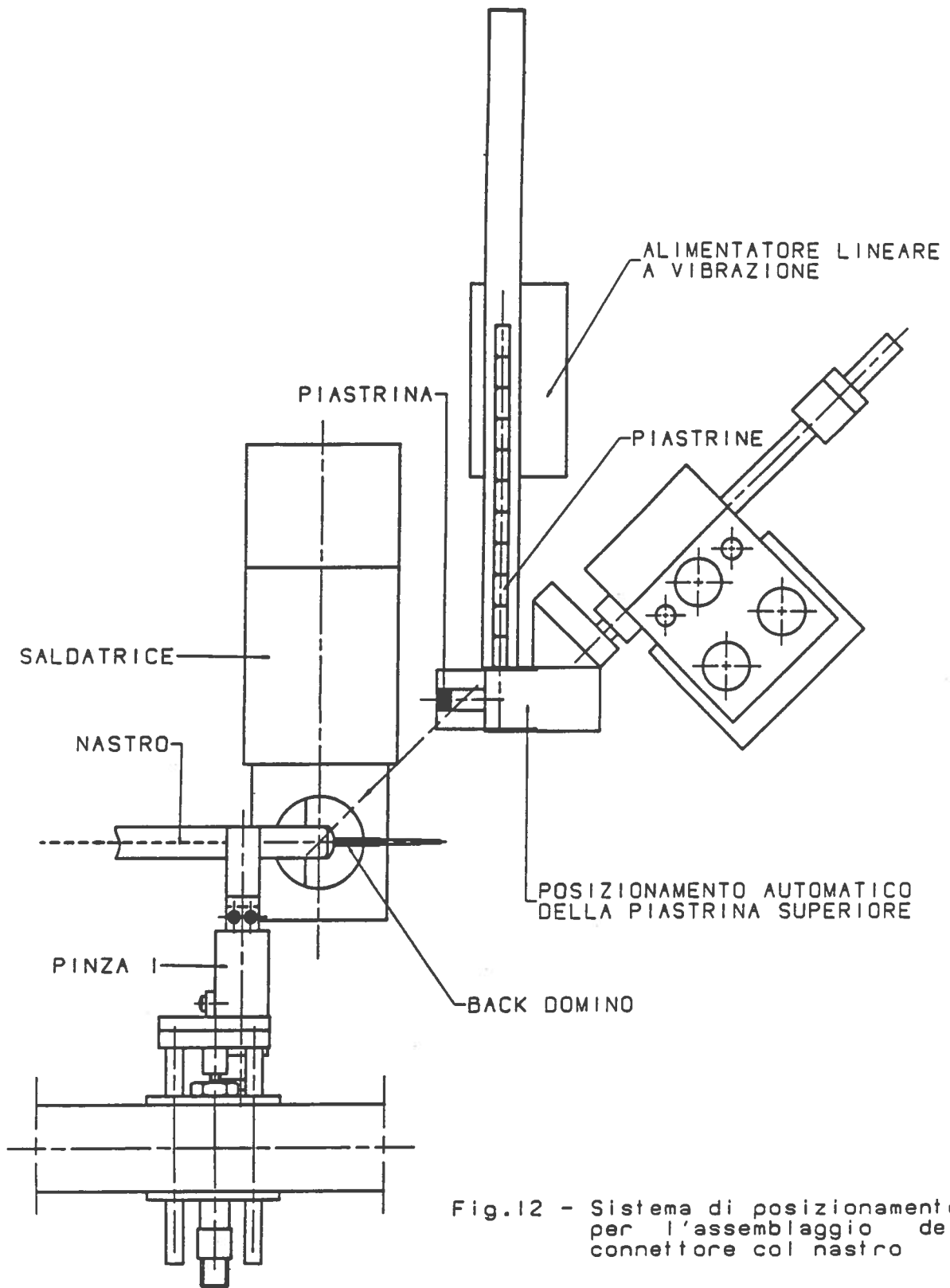


Fig.12 - Sistema di posizionamento per l'assemblaggio del connettore col nastro

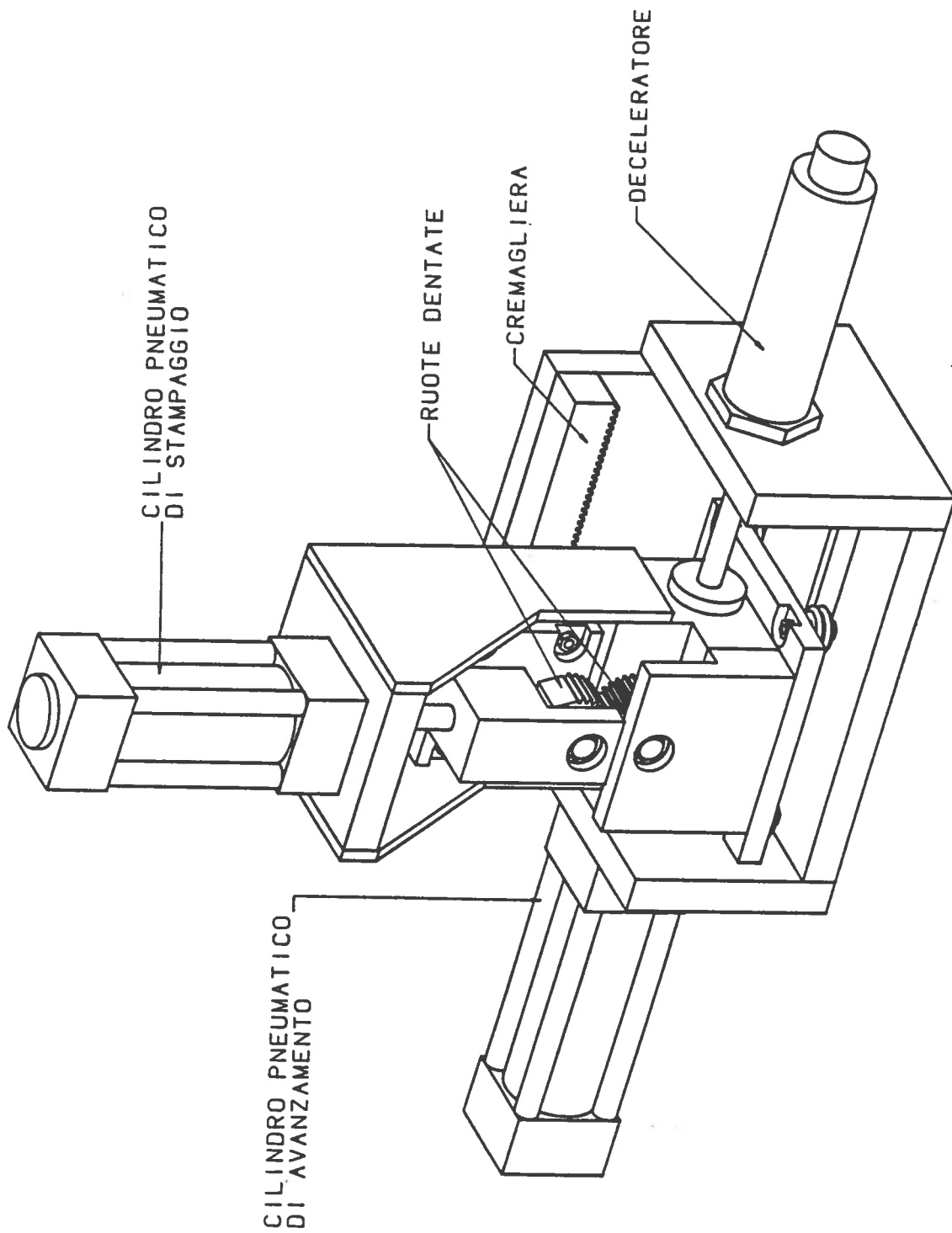


Fig.13 - Stampo per la formatura delle molle

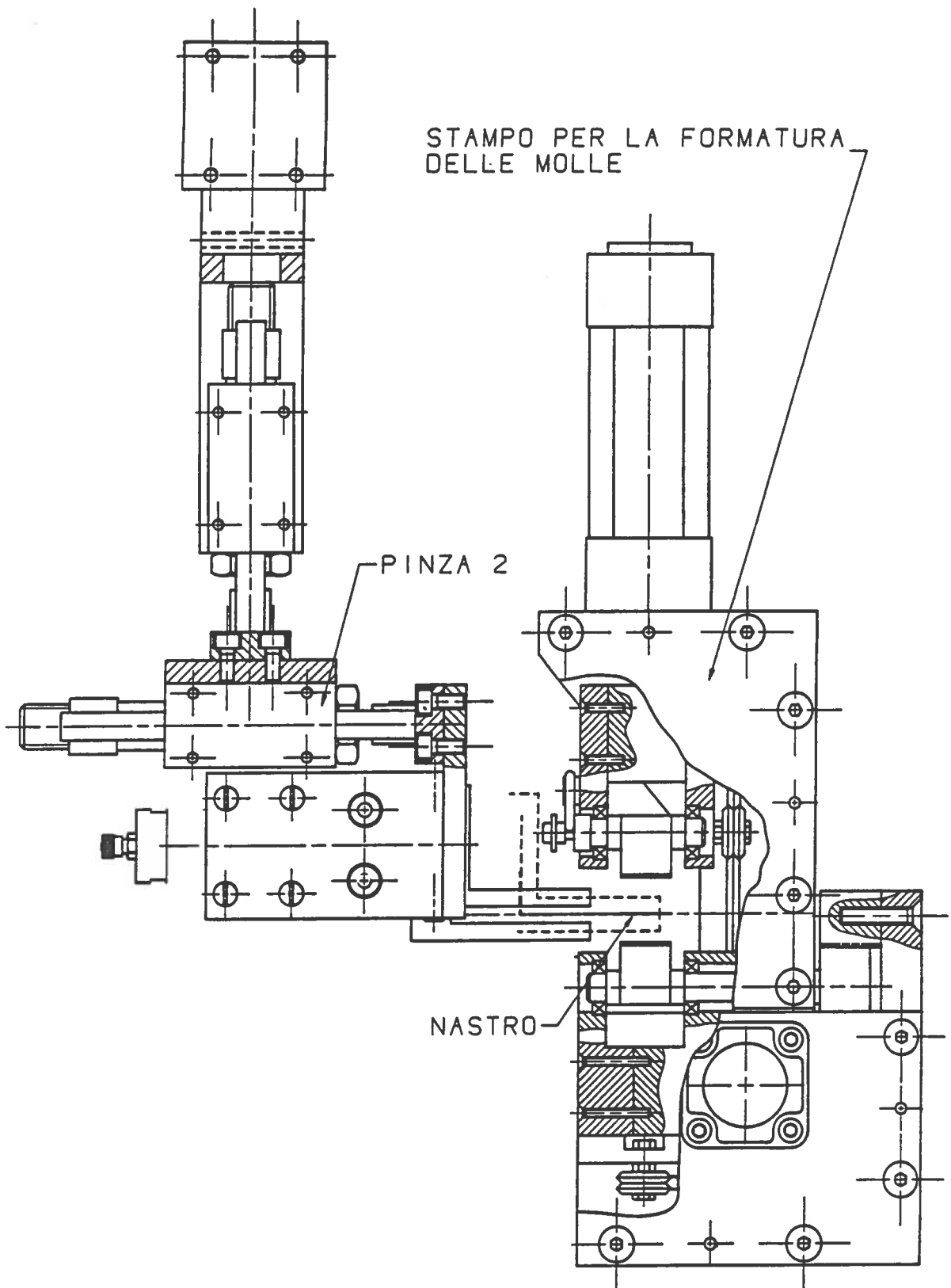


Fig.14 - Posizionamento del nastro per lo stampaggio della molla

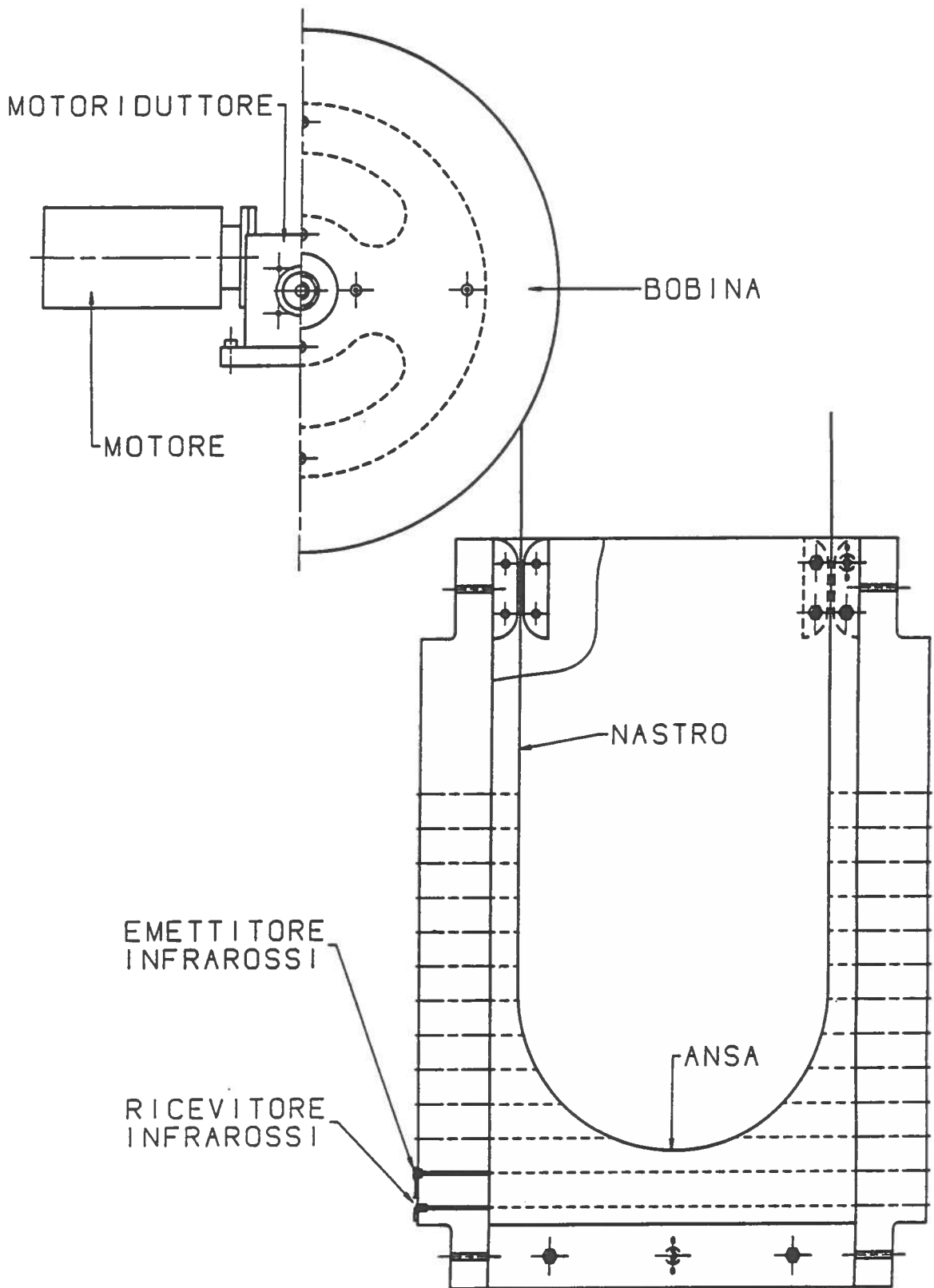


Fig.16 - Sistema di controllo dell'ansa

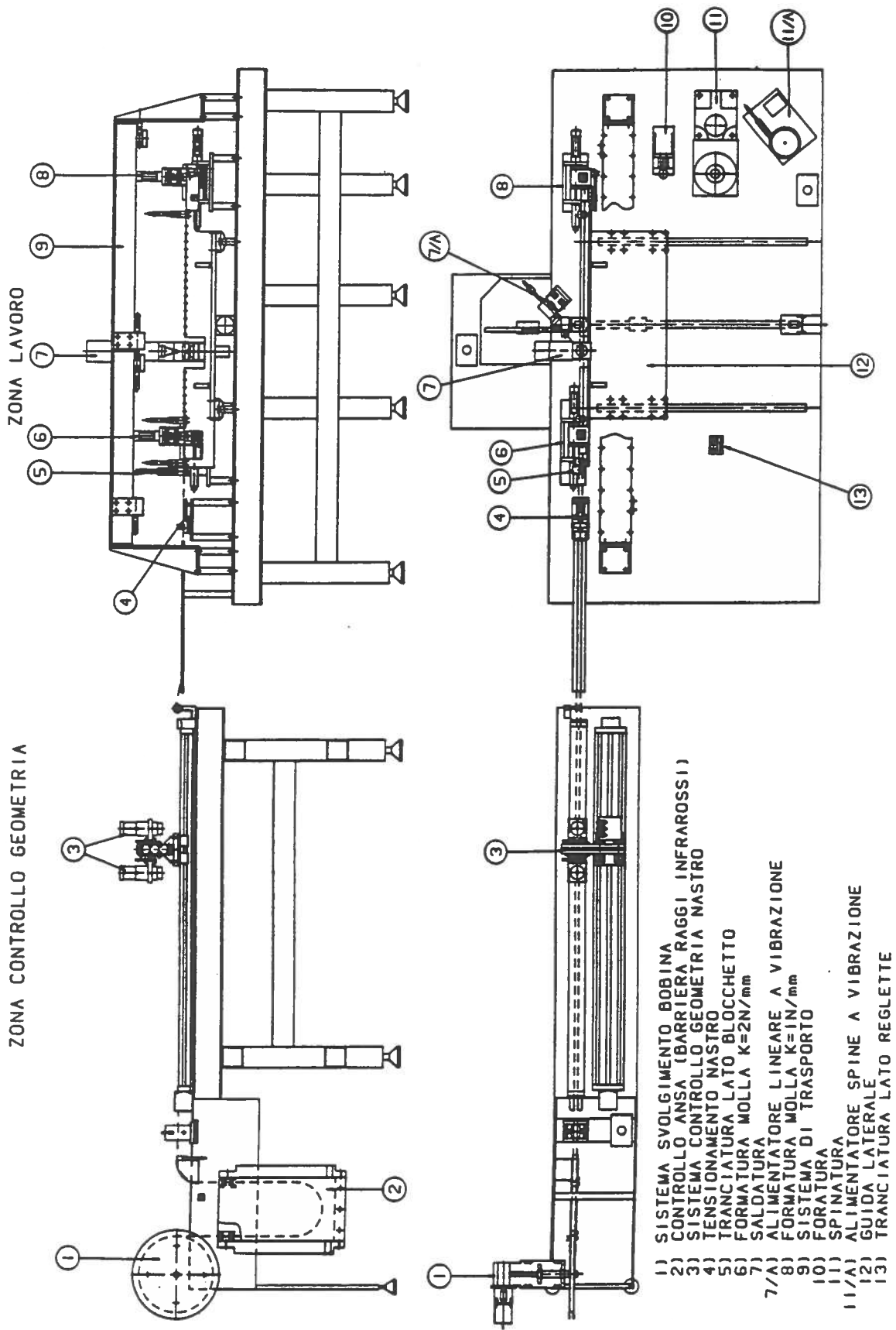
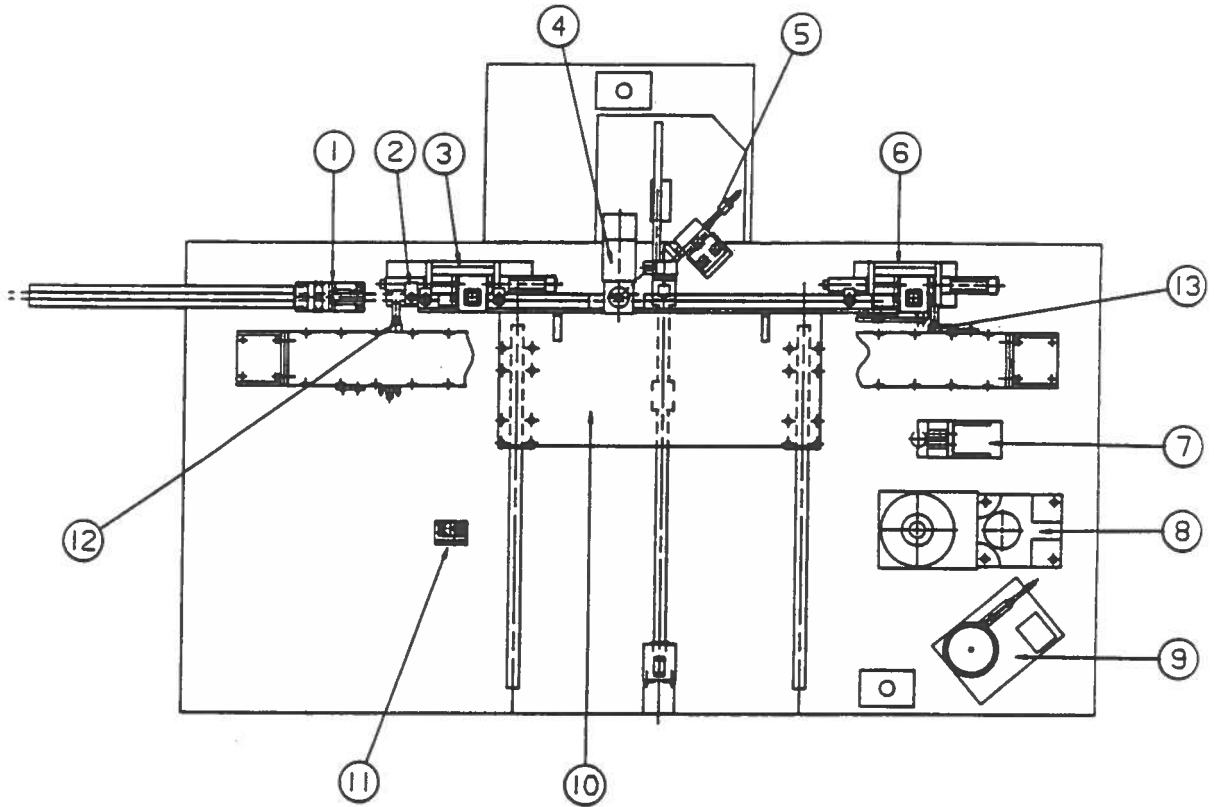


Fig.17 - Macchina per la produzione degli elettrodi



- 1) TENSIONAMENTO NASTRO
- 2) TRANCIATURA LATO BLOCCHETTO
- 3) FORMATURA MOLLA $K=2N/mm$
- 4) SALDATURA
- 5) ALIMENTATORE LINEARE A VIBRAZIONE
- 6) FORMATURA MOLLA $K=1N/mm$
- 7) FORATURA
- 8) SPINATURA
- 9) ALIMENTATORE SPINA A VIBRAZIONE
- 10) GUIDA LATERALE
- 11) TRANCIATURA LATO REGLETTE
- 12) PINZA 1
- 13) PINZA 2

Fig.17.1 - Zona di lavoro

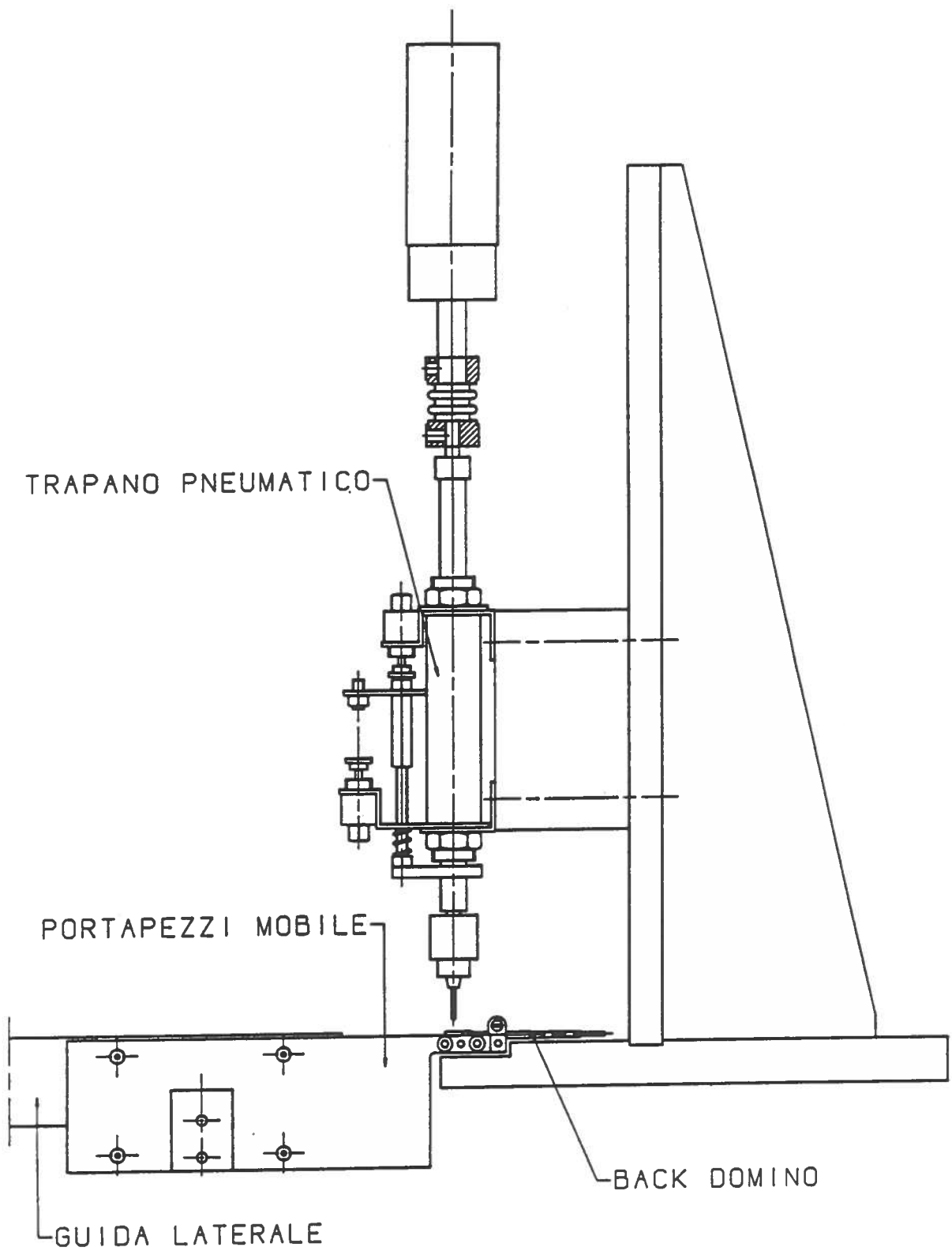


Fig.18 - Stazione di foratura

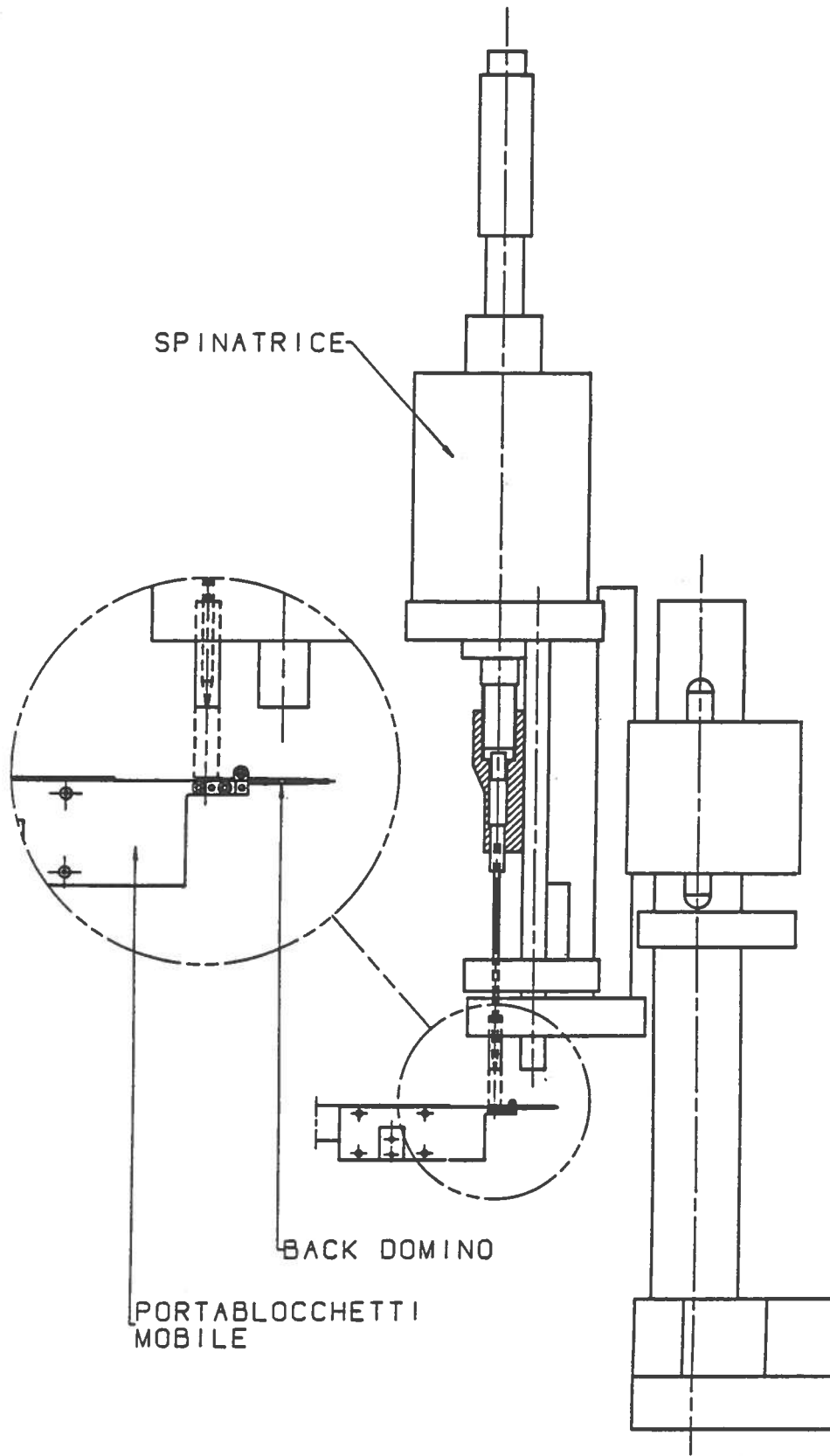


Fig.19 - Stazione di spinatura

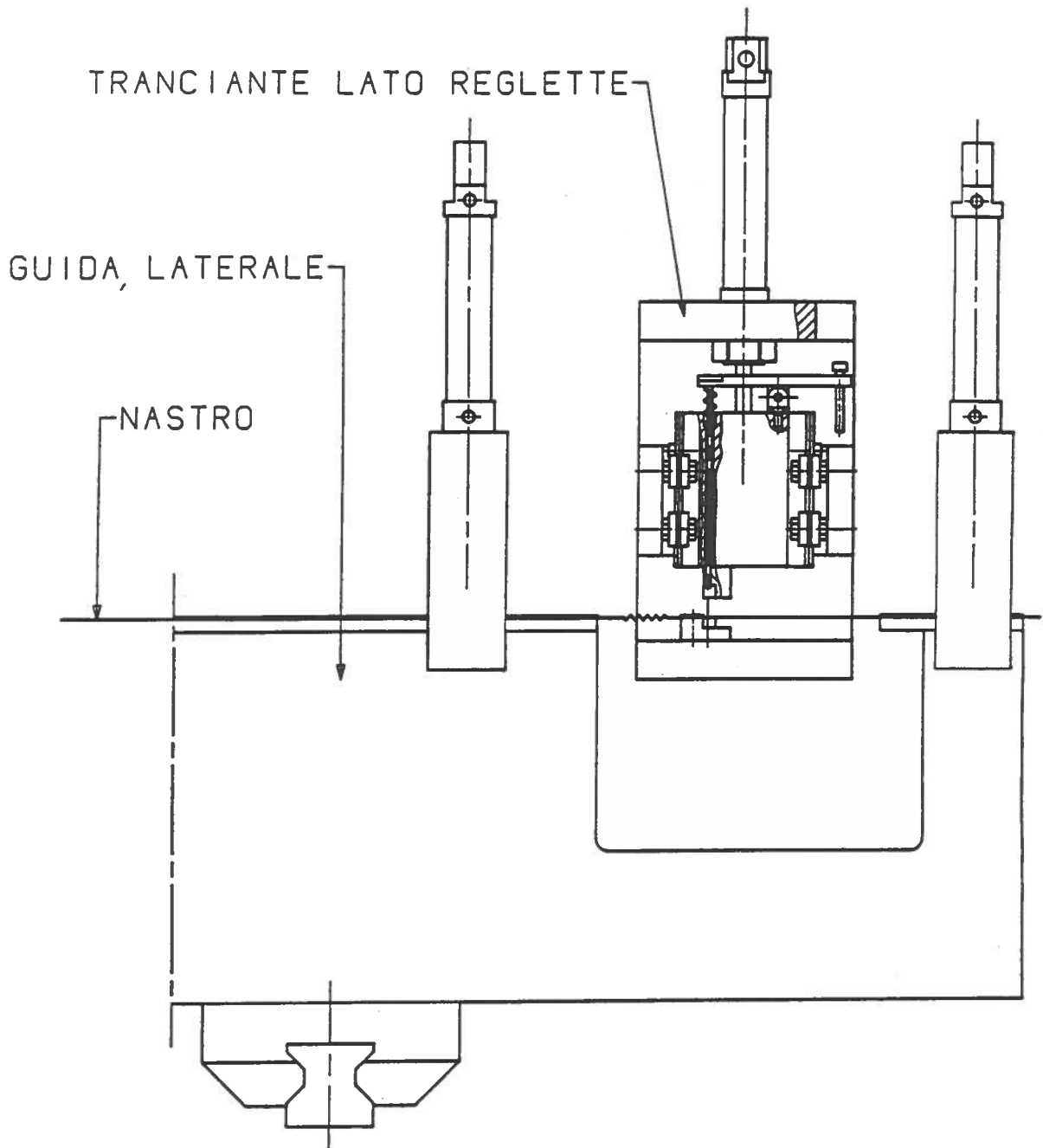


Fig.20 - Tranciatura e foratura finale del nastro