

Frascati, July 5, 2001

Note: **CD-11**

CONTROLLI E MOVIMENTAZIONI FENDITURE E TARGHETTE DELLA LINEA DI TRASFERIMENTO

O. Coiro, F. Galletti

1. Premessa

Con la diagnostica delle linee di trasferimento di DAΦNE sono state installate delle fenditure costituite da targhette metalliche sottili che intercettano parzialmente il fascio di particelle secondo lo schema di Fig. 1. Quelle posizionate dopo i dipoli pulsati hanno la funzione di ridurre lo "spread" di energia del fascio di particelle proveniente dal LINAC verso l'accumulatore (SLTTT001) e verso gli anelli principali (SLTT002), le altre (SLTTM001 e SLTTB001) hanno lo scopo, unitamente alla targhetta spessa TGTTM001 che intercetta il fascio proveniente dal LINAC, di selezionare il fascio per la Beam Test Facility [1], infatti queste ultime riducono l'intensità del fascio fino a produrre, statisticamente, un singolo elettrone per impulso.

2. Introduzione

Il progetto meccanico delle movimentazioni è comune a tutte le fenditure: è costituito principalmente da due blocchi individuali di tungsteno o rame, installati in posizione orizzontale e movimentati da due motori a step remotizzati ed azionabili individualmente o contemporaneamente in maniera sincronizzata così da permettere un'apertura simmetrica rispetto al fascio di particelle entro ± 0.1 mm.

La prima coppia di targhette, SLTTM001, è usata per degradare l'energia del fascio di particelle proveniente dal LINAC verso la BTF e in unione al dipolo a 45° DHSTB001 e alla seconda coppia di targhette SLTTB001, per selezionare l'energia e ridurre il numero di particelle del medesimo fascio.

La TGTTM001, l'unica a singola movimentazione, è impiegata per controllare gli incrementi di perdita di energia e fa parte, assieme alle precedenti, della diagnostica dedicata alla BTF per operazioni a singolo elettrone. La sua funzione è paragonabile ad un filtro ottico a differenti diaframmi: è costituita da un unico blocco di rame a forma di scaletta con tre diversi spessori (corrispondenti a 1.7, 2.0 e 2.3 lunghezze di radiazione), in modo da avere quattro posizioni diverse di funzionamento; la distanza fra ciascuna posizione è di 50 mm mentre il profilo della targhetta completamente estratta dista 31 mm dalla traiettoria del fascio.

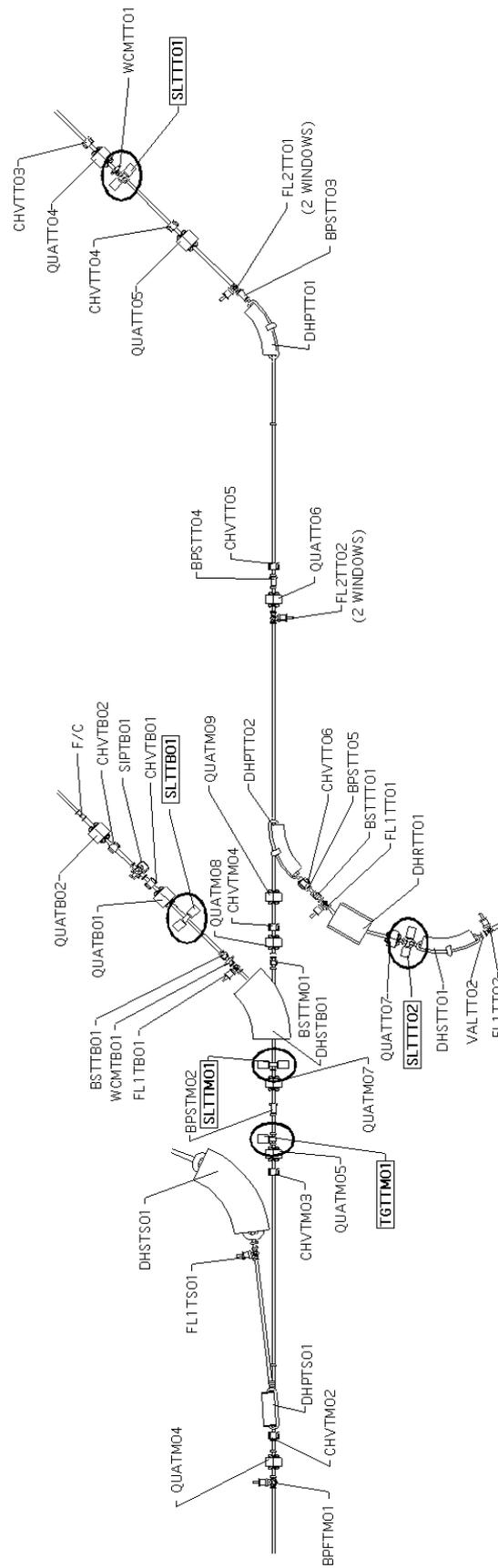


Figura 1: Posizione delle targhette nella Transfer Line

Le fenditure SLTTT001 e SLTTT002, costituite da targhette in rame, sono impiegate per ridurre l'apertura orizzontale: vengono inserite verso il centro della camera da vuoto per "tagliare" la porzione di fascio che eccede il limite di accettazione in modo da prevenire perdite di fascio distribuite lungo la transfer line.

I soffietti meccanici sono stati scelti in modo tale da garantire almeno 30.000 cicli di azionamenti; le superfici verticali delle targhette che "vedono" il fascio sono piatte e parallele una rispetto all'altra entro ± 0.05 mm.

	Material	Opening (mm)	Range (mm)	Positioning accuracy (mm)
SLTTM001	tungsten	0.1 to 55	27.5	± 0.1 (from 0.1 to 15 mm)
				± 0.2 (from 15 to 55 mm)
SLTTB001	tungsten	0.1 to 62	31	± 0.02 (from 0.1 to 10 mm)
				± 0.2 (from 10 to 62 mm)
SLTTT001-2	copper	0.1 to 62	36	± 0.1
TGTTM001	copper			4 positions

3. Motori passo-passo

In Fig. 2 è rappresentato schematicamente l'assieme meccanico dell'azionamento delle targhette: sono visibili il motore e l'encoder con annessi micro-switches per la limitazione della corsa del motore sia in estrazione che in introduzione.

I motori utilizzati sono del tipo SLO-SYN M063-CS06 a magneti permanenti, questi motori, denominati passo-passo, possono essere azionati solo tramite circuiti elettronici e non in maniera standard come gli altri tipi di motori, la loro caratteristica di poter avanzare proprio a "passi" è ottenibile esclusivamente applicando opportune sequenze di impulsi ai vari avvolgimenti di cui sono composti.

Nel panorama di tutti i motori elettrici i motori passo-passo sono caratterizzati da una serie di particolarità che ne fanno la scelta "quasi" ideale per tutte le applicazioni che richiedono notevole precisione nel posizionamento e nella velocità di rotazione; hanno il vantaggio di poter realizzare azionamenti di precisione con relativa semplicità, facilità di realizzare piccole rotazioni dell'albero, per contro richiedono sempre circuiti elettronici per il pilotaggio, rendimento energetico basso e in genere piccola potenza e costo superiore rispetto ad altri tipi di motore.

Un motore bipolare a magneti permanenti è composto da un rotore magnetizzato circondato dai poli dello statore sui quali sono avvolti gli avvolgimenti, questo tipo di motori, a differenza di tutti gli altri, hanno come scopo quello di mantenere fermo l'albero in una posizione di equilibrio e solo indirettamente permettono la rotazione: se alimentati si limitano a bloccare l'albero in una ben precisa posizione angolare, per contro senza alimentazione il motore ruota liberamente anche se, facendo girare l'albero a mano si sente un certo funzionamento a scatti.

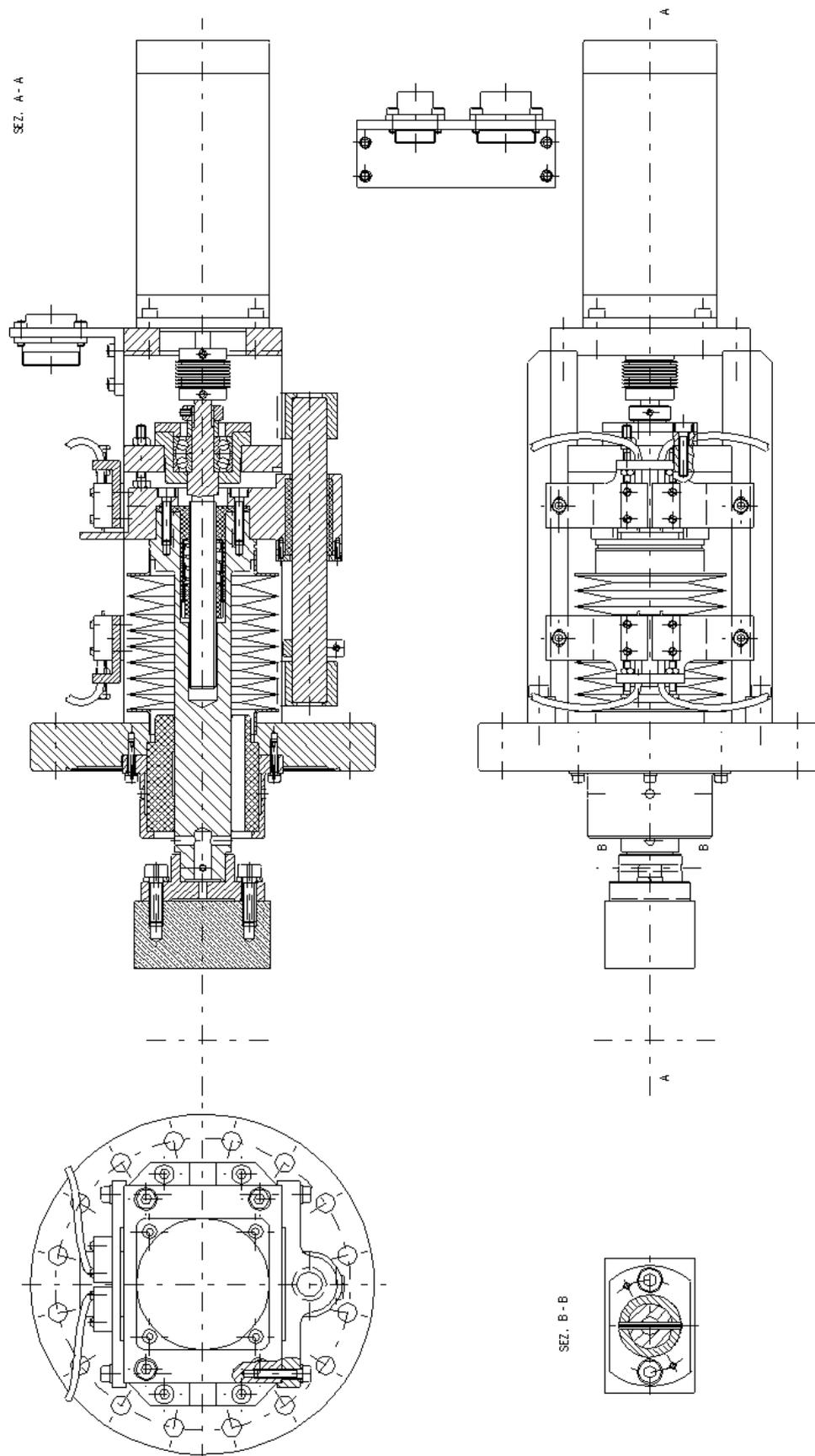


Figura 2: Assieme meccanico azionamento delle targhette

Il pilotaggio del motore avviene eccitando in sequenza gli avvolgimenti dello statore in modo da generare un campo magnetico con direzione variabile che costringe il rotore ad allinearsi ad esso, in questo modo si sposta per scatti successivi la posizione di equilibrio dell'albero: è possibile far ruotare l'albero nella posizione e alla velocità voluta semplicemente contando gli impulsi ed impostando la frequenza di invio, visto che le posizioni di equilibrio dell'albero sono note con estrema precisione.

Esistono diverse possibili sequenze di pilotaggio: a una fase (one phase on full step oppure wave drive mode) in cui in ogni istante è alimentata una sola fase; a due fasi (two phase on full step) in cui sono alimentate due fasi adiacenti, così facendo il rotore si allineerà da solo tra le posizioni dei due poli, questo modo consente una maggiore coppia torcente grazie al campo magnetico che risulta più intenso di quello relativo al pilotaggio a una fase sola; la terza possibilità che equivale al nostro modo di operazione, è di alimentare alternativamente una fase, due fasi, ecc. in modo tale che il motore si muova con incrementi di mezzo passo seppure con una coppia torcente meno regolare.

I motori utilizzati sono a sei avvolgimenti separati collegati in serie a coppie in modo tale che alimentandoli al contrario cambia il senso di rotazione e necessitano di solo una coppia di drivers esterni.

Tutti i motori a step hanno delle instabilità meccaniche alla loro frequenza naturale o loro armoniche: tipicamente questa zona di instabilità, raffigurata nei grafici come zona tratteggiata, si manifesta tra 50 e 1000 steps per secondo e dipende espressamente dal carico e dalle caratteristiche dinamiche del motore; per evitare eccessive modulazioni di velocità e quindi accelerazioni-decelerazioni dei motori e posizionamenti impropri, abbiamo effettuato dei tests particolareggiati e deciso di utilizzare i nostri motori alla velocità di 600 steps al secondo.

4. Drivers e interconnessioni

L'azionamento dei motori passo-passo viene effettuato mediante dei moduli drivers di potenza di tipo lineare a stato solido tipo "SLO-SYN 430-TH" [2]: questo modulo, costituito principalmente da un amplificatore di corrente a guadagno unitario in grado di erogare la corrente necessaria al motore, converte elettricamente gli impulsi d'ingresso in opportuni segnali di pilotaggio, sia in tempo che in ampiezza, capaci di generare un "passo" del motore.

Sono in teoria necessari due soli segnali, un segnale di direzione (indicato con le sigle CW e CCW) ed un clock (PULSE) che, ad ogni singolo impulso, farà ruotare il motore di un passo nella direzione voluta; sono disponibili altri pin ausiliari come la scelta del funzionamento half-step (basato sulla considerazione che è possibile ottenere un passo intermedio), lo spegnimento di tutte le fasi o meglio degli avvolgimenti del motore (ALL WINDINGS OFF) e il REDUCED CURRENT col quale si può ridurre la corrente del motore da 3.5 A fino a 1.5 A. Tutti i segnali di controllo ad eccezione del "reduced current" sono otticamente separati.

La tecnica utilizzata è quella denominata "chopping", che diversamente alle altre tecniche impiegate per i motori a step permette una bassa dissipazione di potenza: la tensione applicata all'avvolgimento dei singoli motori è commutata rapidamente o "choppata", il livello di tensione e la frequenza di chopping sono controllate con precisione così da permettere una riduzione della corrente necessaria.

In questa, come in altre applicazioni simili, è stata considerata la possibilità che interferenze elettromagnetiche possano causare inappropriate operazioni alla logica del microprocessore utilizzato con conseguenti errati conteggi e/o posizionamenti impropri.

Particolare attenzione è stata posta nella localizzazione dei drivers e dei cavi di collegamento tra motori e drivers stessi lontano da possibili fonti di rumore, le singole schede elettroniche sono state racchiuse in contenitori metallici per aumentare lo schermaggio ai disturbi; sempre per lo stesso motivo si sono particolarmente curate le connessioni da e verso terra dei singoli componenti e relativi contenitori, evitando collegamenti a "daisy-chained" e preferendo collegamenti diretti secondo lo schema a singolo punto di terra; si sono utilizzati cavi schermati a coppie intrecciate per le interconnessioni dei motori, dei drivers e dei segnali di controllo mentre sono state tenute separate le linee di pilotaggio da quelle di controllo dei singoli motori.

L'alimentazione dei drivers è del tipo "lineare" e la linea a corrente alternata è stata opportunamente filtrata.

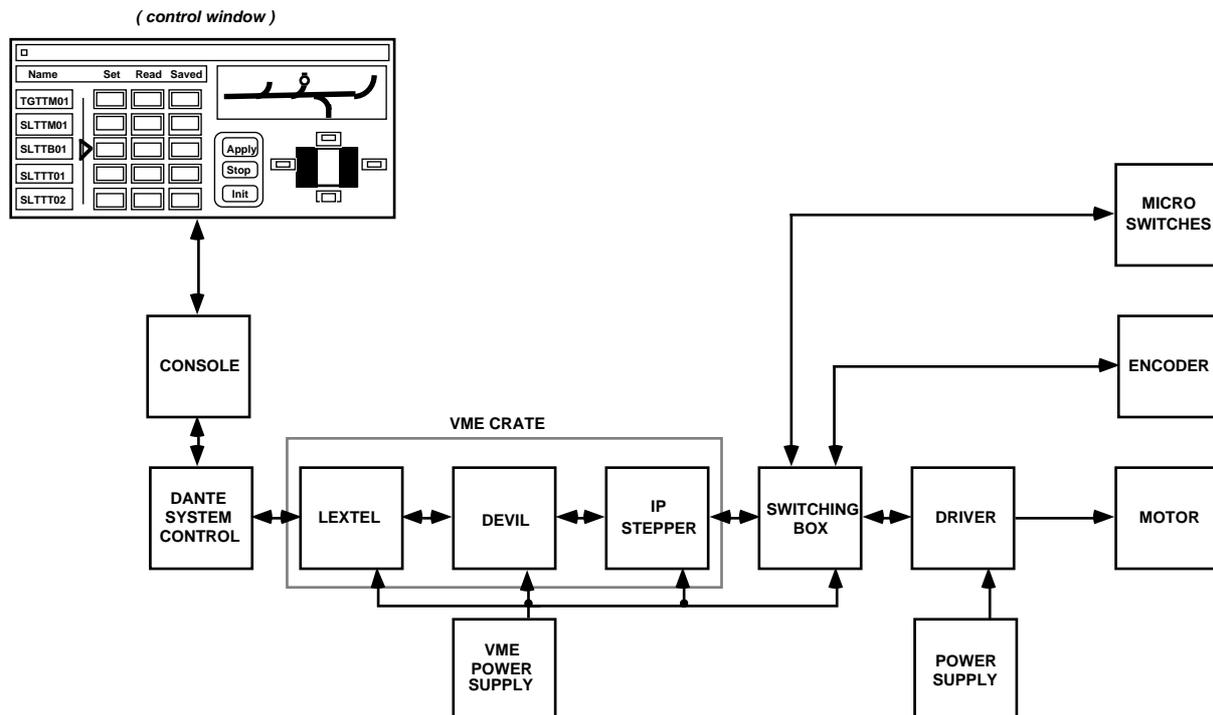


Figura 3: Schema a blocchi

5. Interfacce e controlli

In Fig. 3 è rappresentato l'intero schema elettrico a blocchi per il funzionamento dei controlli e delle movimentazioni dei motori: questa realizzazione, al pari degli altri componenti la diagnostica dei fasci di DAFNE è comandata e controllata dal sistema di controllo centrale per cui i programmi esecutivi sono stati elaborati con l'ausilio di "LabView" per Sun Station.

I limiti di spostamento delle targhette sono attuati per mezzo di interruttori subminiatura del tipo "Microswitch" particolarmente indicati per le loro caratteristiche elettriche, precisione e ripetibilità in operazione e lunga durata nel tempo. Questi microswitches denominati "fine corsa" inibiscono al motore lo spostamento nello stesso senso di marcia e ne permettono la sola predisposizione alla sua inversione; per maggiore sicurezza, oltre al blocco meccanico, che garantisce di non superare i limiti di guardia sia nell'inserimento che nell'estrazione, sono stati

installati altri micro-interruttori denominati "emergency stop" che, qualora attivati, disattivano completamente il pilotaggio dei motori.

L'acquisizione dei singoli passi effettuati dal motore è permessa dall'encoder ottico incrementale relativo tipo SLO-SYN M063-LF-501C2006 direttamente assemblato sullo stesso albero del motore, questo componente è particolarmente affidabile e stabile nel tempo, ha bassi conteggi ed ingressi differenziali per evitare segnali spuri e/o conteggi errati.

Per l'adattabilità delle varie interconnessioni e per la gestione dei livelli abbiamo creato una scatola di derivazione denominata "switching box" su cui si concentrano la maggior parte dei controlli e delle segnalazioni. Per interfacciare al nostro sistema di controllo i comandi dei moduli 430-TH e quindi della movimentazione dei singoli motori, dal set degli steps alla gestione dei fine corsa e quindi dei limiti di spostamento, abbiamo usato una scheda d'interfaccia I/O modulare della "Green Spring" [3] che ha la possibilità di alloggiare fino a quattro moduli "Ip-stepper" per il controllo di un massimo di 8 motori: nel nostro caso abbiamo usato due schede GreenSpring, una predisposta con 4 moduli ed un'altra con un solo modulo per la gestione della TGTTM001 a singolo motore.

Ciascun modulo controlla il movimento di due canali indipendenti: ogni canale è costituito da un chip programmabile PCL240MK per generare impulsi e controllare la velocità dei singoli motori, e di un contatore digitale 71LS66 col quale vengono monitorati i passi effettuati dal motore attraverso l'encoder relativo. Sono possibili le funzioni di avanti/indietro, mezzo passo o passo intero, di abilitazione, di blocco, di inizializzazione: è possibile sincronizzare il movimento di due assi, eseguire un'arresto immediato del motore e continuare ad avere una precisione della posizione acquisita anche se non si è raggiunto il limite preimpostato della corsa.

Il programma esecutivo consente una piena remotizzazione di tutto il sistema di azionamento e controllo dei motori: acquisisce lo stato degli encoders e visualizza in tempo reale il posizionamento delle targhette e lo stato dei fine corsa.

Attraverso uno stretto loop da parte della CPU remota (Devil) viene effettuata una scansione su tutti i motori, operando una continua lettura dei dispositivi IP Stepper e registrandone i dati in una predefinita globale; quest'ultima, attraverso il sistema di controllo, è trasferita su una CPU di alto livello (Caronte) a cui abbiamo accesso attraverso il nostro programma esecutivo.

I dati presenti su tale globale vengono in parte visualizzati, in parte utilizzati come variabili locali ed altri ancora gestiti come dati di servizio. Questa è suddivisa in una parte statica, che definisce i dati dell'oggetto su cui si sta operando (indirizzi delle schede di basso livello, step per rivoluzione, passo, riduzione meccanica, etc.) ed una parte dinamica per la gestione di tutti i dati variabili (posizione dell'encoder, situazione dei fine corsa, etc.).

I comandi sono codificati secondo un protocollo con sintassi comune a tutti i programmi del sistema di controllo centrale:

- OPAL consente l'inizializzazione del singolo motore e più precisamente resetta lo stato dell'encoder dopo aver estratto completamente la targhetta;
- SETT consente di spostare in maniera relativa il motore in base agli steps predefiniti e il senso di rotazione in funzione dello spostamento;
- STOP effettua l'arresto istantaneo del motore;
- MODE definisce l'operatività del motore, la possibilità di mettere in Stand-by il driver di potenza.

Il posizionamento delle fenditure avviene attraverso un calcolo degli steps da inviare al sistema, ad ogni singolo step corrispondono 2.5 μm di spostamento totale: con l'ausilio di un

pratico ed intuitivo sinottico è facile individuare la targhetta selezionata e la sua posizione, attraverso una simulazione grafica dell'apertura reale della targhetta nella camera da vuoto.

Per mezzo di opportuni tools è possibile salvare su un file l'esatta posizione di tutti i motori e passare da una configurazione all'altra caricando opportunamente il relativo file preconfigurato.

La precedente esperienza acquisita per l'azionamento ed il controllo degli scrapers degli anelli principali di DAΦNE, che utilizzano lo stesso tipo di motori, ed i numerosi tests effettuati in laboratorio ci hanno permesso di migliorare l'efficienza, la ripetibilità e l'affidabilità del singolo azionamento.

6. Ringraziamenti

Si ringraziano Andrea Ghigo e Mario Serio in particolare per la completa disponibilità e consulenza nel trasferimento delle informazioni tecniche e nella stesura di questa nota, e Umberto Frascaco per il lodevole contributo nella realizzazione delle interconnessioni dell'intero sistema delle movimentazioni.

Un ulteriore ringraziamento a Giampiero Di Pirro che ha valutato la componentistica Green Spring e iniziato le prime procedure per il controllo remoto dei dispositivi SLO-SYN.

7. Bibliografia

- [1] A. Ghigo and F. Sannibale: "Single Electron Operation Mode in DAΦNE BTF", proceedings of the 4th European Particle Accelerator Conference, London, UK, 1994, p. 2444.
- [2] The Superior Electric Company: "Instruction manual for SLO-SYN Micro series motion controls".
- [3] Green Spring Computers: "User Manual IP-Stepper".