

Frascati, January 8, 2003

Note: **CD-13**

CONTROLLI E MOVIMENTAZIONI NUOVI SCRAPERS DEGLI ANELLI PRINCIPALI

O. Coiro, F. Galletti, V. Lollo

1. Introduzione

Per consentire agli esperimenti attualmente installati in DAFNE una riduzione del numero di particelle perse nelle zone di interazione si è deciso di aggiungere altri 10 scrapers oltre i 12 installati nel 1999 e già operativi.

L'inserimento in macchina di questi scrapers (vedi in Fig. 1 la relativa ubicazione), giacché non previsti nel progetto iniziale, è stato reso possibile grazie all'idea di poter utilizzare lo spazio disponibile all'interno degli assorbitori di luce di sincrotrone peraltro necessari e funzionanti; è stato necessario quindi sviluppare un nuovo progetto che combinasse, con opportune modifiche, gli scrapers agli assorbitori.

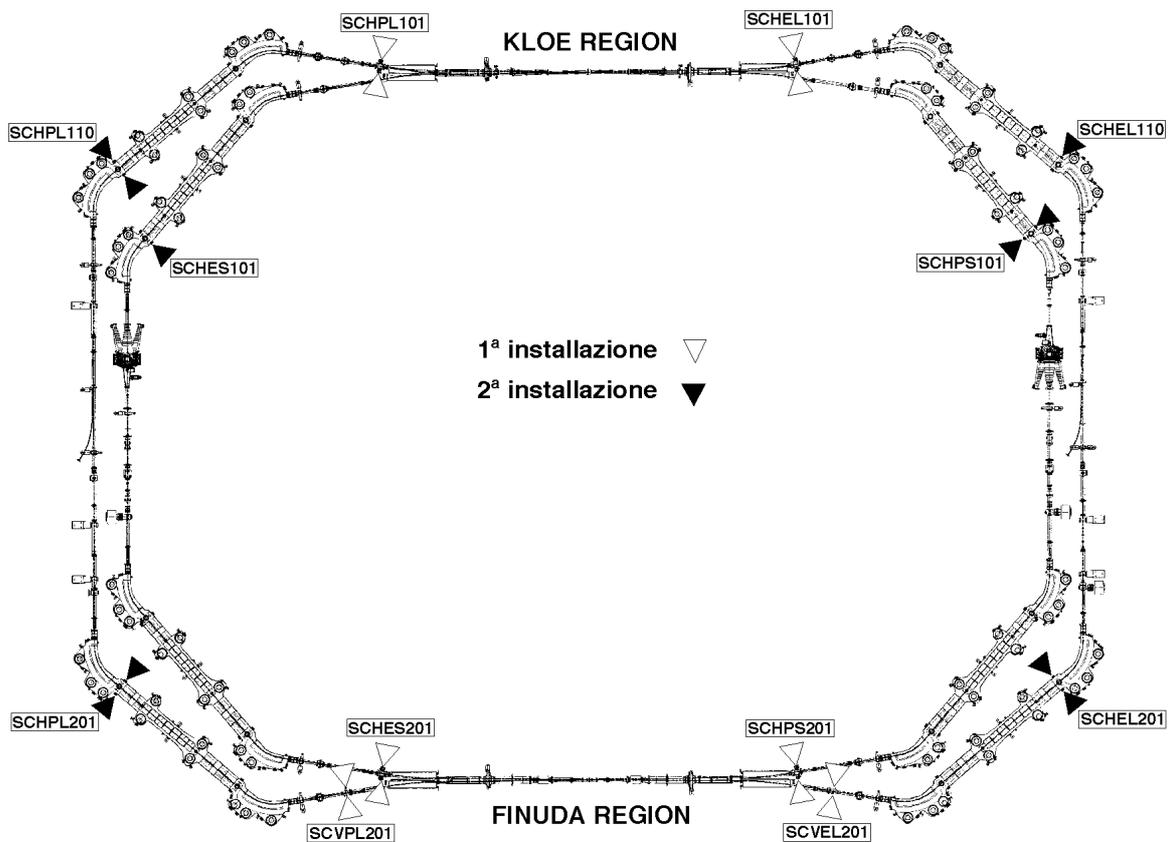


Figura 1: Ubicazione vecchi e nuovi scrapers

Lo scraper è costituito da una targhetta di tungsteno, installata in posizione orizzontale e inserita in un blocco di rame (l'assorbitore di luce) entrambi movimentati da un motore passo-passo remotizzato ed azionabile da sistema di controllo che inserisce il dispositivo verso il centro della camera da vuoto per ridurre l'apertura orizzontale: così facendo viene "tagliata" la porzione di fascio che eccede il limite di accettazione in modo da prevenire perdite di fascio distribuite lungo le zone di interazione dove sono installati gli esperimenti.

I controlli e gli azionamenti sono concettualmente simili a quelli già installati in precedenza sulle fenditure e sulla targhetta delle linee di trasferimento [1] e sugli scrapers degli anelli principali ma la loro realizzazione meccanica è diversa.

In Fig. 2 è rappresentato lo schema elettrico a blocchi dell'intero sistema che consiste di quattro elementi fondamentali: il motore a step, il driver di potenza (amplificatore di corrente), un indexer capace di generare segnali elettrici atti a movimentare la targhetta e l'interfaccia utente. Un quinto elemento, l'encoder, è impiegato come feedback per verificare l'esatto spostamento effettuato dallo scraper.

Questa realizzazione, così come per gli altri componenti la diagnostica dei fasci di DAFNE è comandata e controllata dal sistema di controllo centrale DANTE [2]: i programmi esecutivi sono stati elaborati con l'ausilio di "LabView" per Sun Station.

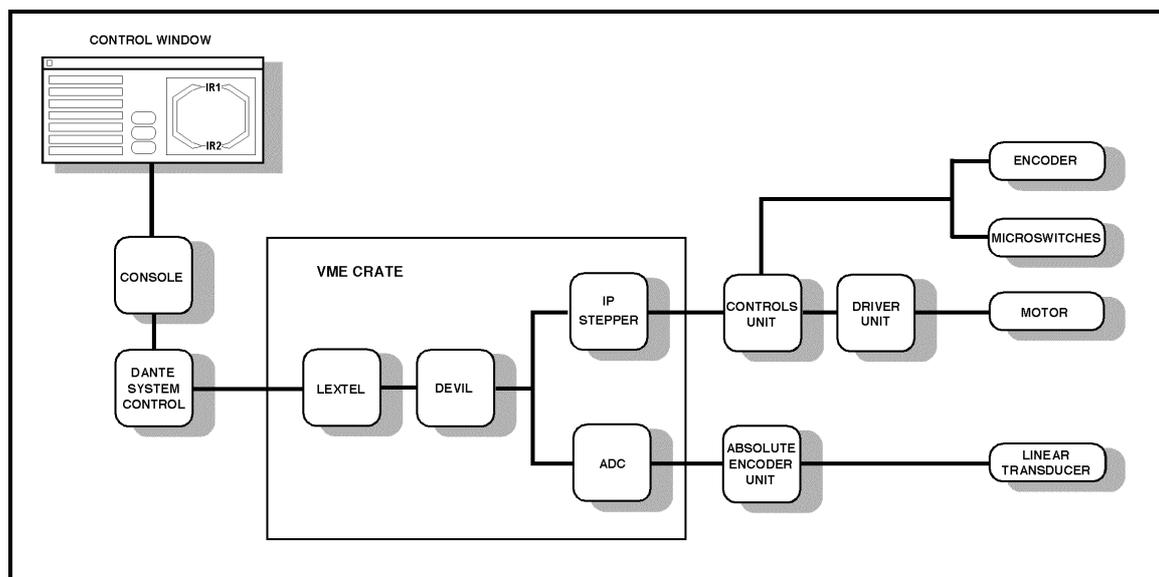


Figura 2: Schema elettrico a blocchi

In questa nota tecnica verranno descritti i controlli e le movimentazioni degli scrapers installati in questa seconda fase sia per quanto concerne il progetto meccanico che la realizzazione elettrico-strumentale.

2. Progetti meccanici

Per una più comprensibile osservazione dell'escursione dello scraper all'interno della camera da vuoto vengono mostrati i disegni esecutivi degli assiemi meccanici degli azionamenti dei nuovi scrapers, Fig. 3 e Fig. 4, e dei vecchi scrapers, Fig. 5, sia per completezza d'informazione che per un confronto tra i due sistemi.

C'è da precisare che mentre i "vecchi" scrapers hanno l'unica funzione di localizzare in punti esterni alle zone sperimentali la perdita di particelle, i "nuovi" giacchè la targhetta di tungsteno è brasata sull'assorbitore di luce di Sincrotrone svolgono la doppia funzione "scraper-assorbitore"; in questo secondo progetto per contro non sono state inserite le schermature a radiofrequenza.

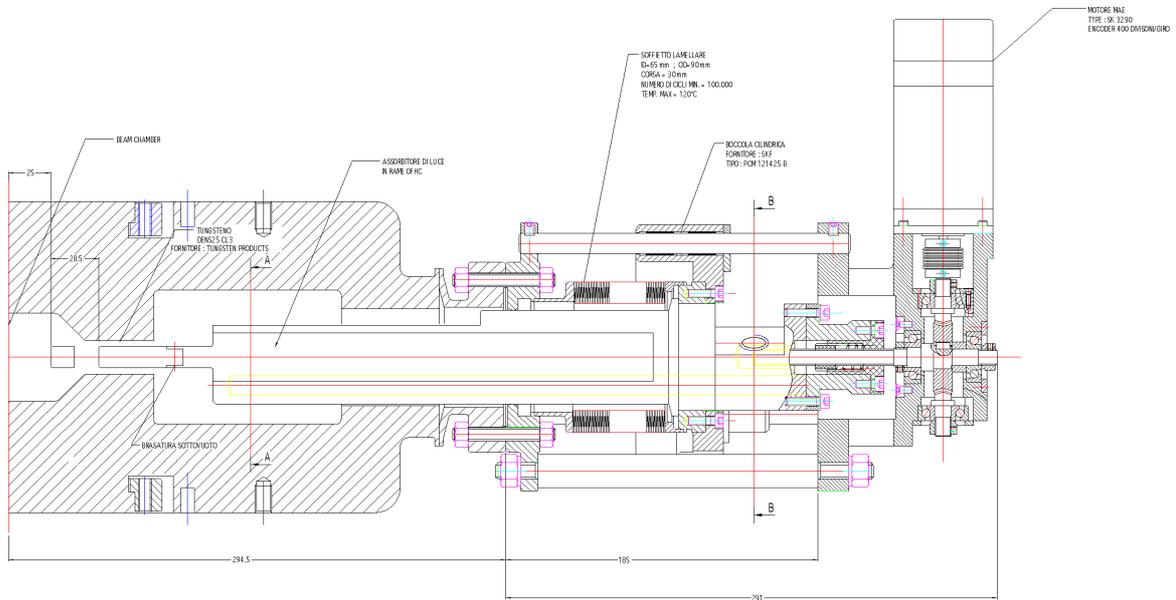


Figura 3: Assieme meccanico nuovo scraper

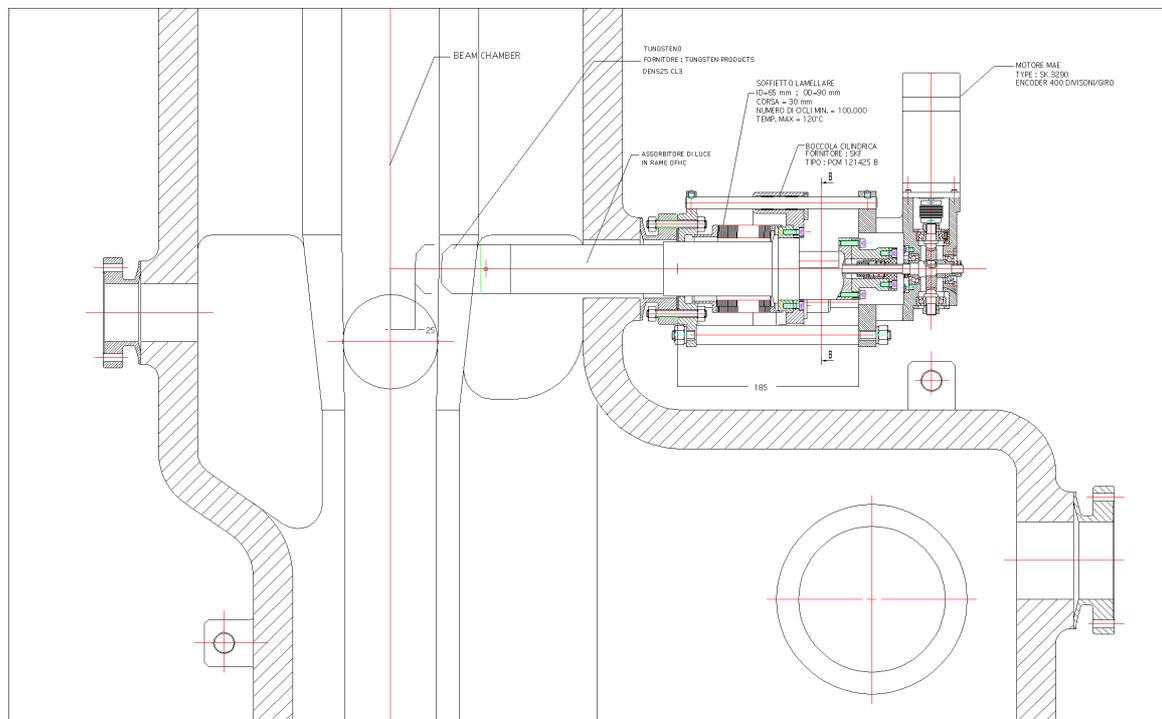


Figura 4: Assieme meccanico nuovo scraper

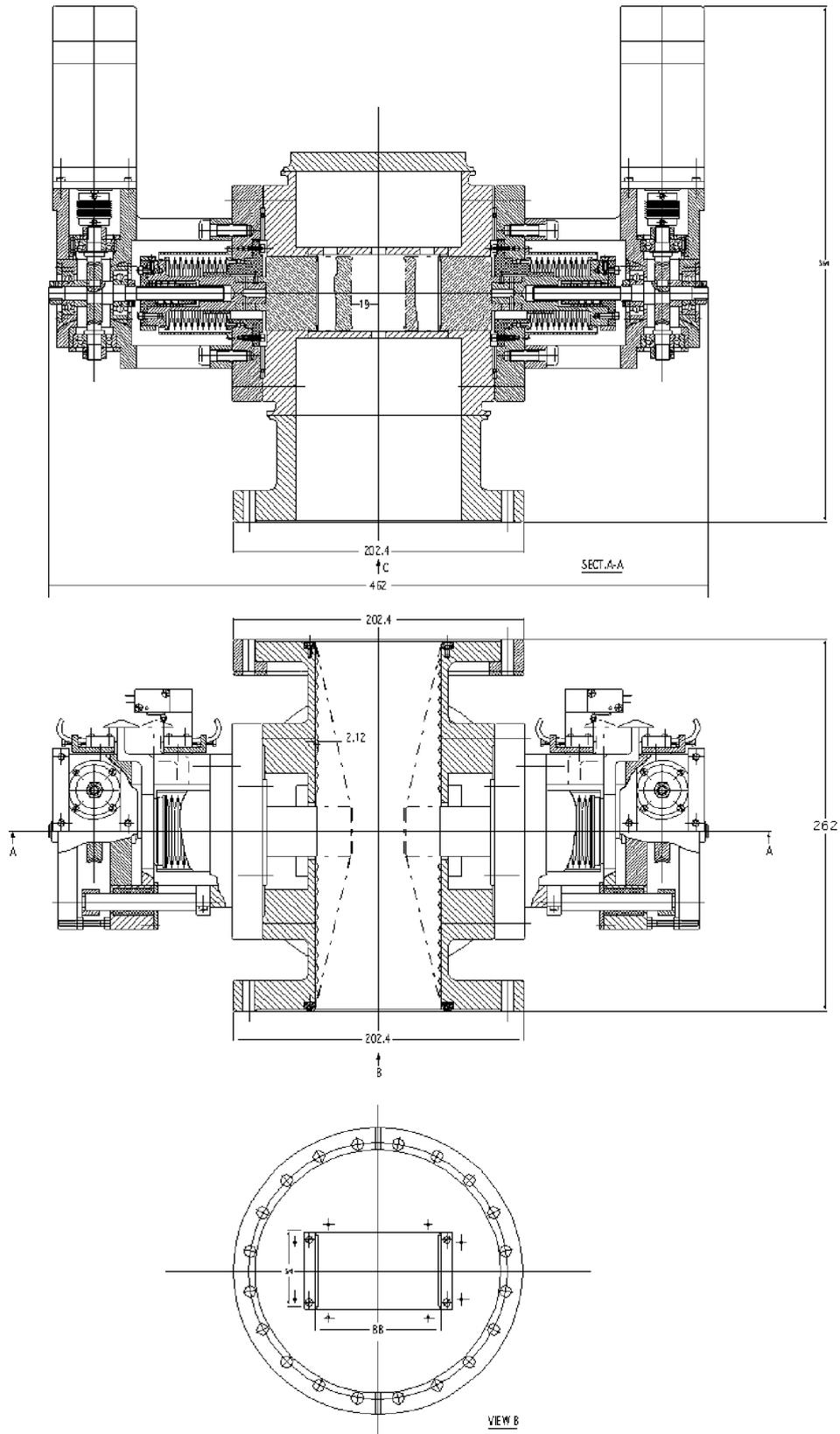


Figura 5: Assieme meccanico vecchio scraper

I soffietti metallici lamellari utilizzati sono di acciaio inox austenitico (materiale amagnetico) e garantiscono almeno 30.000 cicli di azionamenti.

Un ulteriore confronto tra i due sistemi è possibile analizzando la sottostante tabella:

	VECCHI SCRAPERS	NUOVI SCRAPERS
corsa	H = 25 mm V= 15 mm	28 mm
rapporto di trasmissione	1:20	1:20
passo vite	1.5 mm	1.5 mm
avanzamento/step (a mezzo passo)	0.19 μm	0.19 μm
giro motore unitario	0.075 mm	0.075 mm

Durante la fermata del gennaio 2001 inoltre sui primi scrapers installati sono state modificate le dimensioni del blocco di tungsteno aumentandone lo spessore totale (da 35 mm a 55 mm), è stato effettuato un doppio angolo al profilo dello stesso blocco di tungsteno come evidenziato in Fig. 6, ed è stata ricavata un asola di 6 mm di altezza per 120 mm di larghezza nello schermo a radiofrequenza.



Figura 6 – Particolare del blocco in tungsteno

3. Motori, encoders e drivers

I motori a step utilizzati in quest'ultimo progetto sono del tipo MAE HN200-2231-0300BY08 a magneti permanenti, non avendo parti soggette a logorio (assenza di collettore e spazzole) sono estremamente robusti e duraturi nel tempo oltre che avere prestazioni elevate in termini di coppia, rapporto coppia/inerzia, velocità e precisione.

Il motore a step è un trasduttore elettromagnetico che converte impulsi di comando di tipo elettrico in movimenti meccanici programmabili; è contemporaneamente un attuatore e un posizionatore. Questi motori in particolare hanno caratteristiche tali da permettere valori di tensione e corrente di pilotaggio assolutamente contenuti.

Sia questi motori che quelli della SLO-SYN mod. MO63-LE009C4006 installati sui "vecchi" scrapers e sulle transfer-lines hanno caratteristiche elettriche e meccaniche del tutto simili e compatibili con queste applicazioni:

- angolo di passo 1.8°;
- precisione dell'angolo di passo 5% (non cumulativi);
- step per giro 200, mezzo passo 400;
- corrente di fase nominale 6.5 A (SLO-SYN), 3A (MAE);
- inerzia del rotore 320 g cm² (S-S), 340 g cm² (M);
- massa 1.25 Kg (S-S), 1.0 Kg (M);
- coppia di mantenimento bipolare 134 Ncm (S-S), 163 Ncm (M);
- coppia residua 1.77 Ncm (S-S), 6.8 Ncm (M);
- classe d'isolamento B.

La differente scelta è stata dettata dall'urgenza di approvvigionamento e riguarda oltre i motori anche gli encoder relativi descritti in seguito; per contro una rilevante differenza è stata introdotta con i moduli di potenza.

Gli effetti tipici dei motori passo-passo o a step sulle risonanze esistenti a basse velocità e la diminuzione della coppia all'aumentare della velocità sono stati contenuti cablando gli 8 fili dei motori in connessione bipolare parallelo utilizzando gli stessi alla velocità di 600 steps al secondo con sequenze di comando a mezzo passo; così facendo sono state evitate eccessive accelerazioni e decelerazioni dei motori con possibili posizionamenti impropri, a vantaggio di una maggiore precisione e assorbimenti inferiori.

I limiti di spostamento delle targhette sono segnalati 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" qualora attivati inibiscono al motore lo spostamento nello stesso senso di marcia che sta effettuando il motore in quel momento e ne permettono la sola predisposizione alla sua inversione. Gli stessi interruttori sono utilizzati per determinare la posizione di "home" dello scraper; la precisione di intervento accertata è di $\pm 3 \mu\text{m}$.

Per maggiore sicurezza il sistema è stato aggiunto un blocco meccanico che inibisce alla targhetta di superare i limiti di guardia sia nell'inserimento che nell'estrazione.

L'acquisizione dei singoli passi effettuati dal motore è permessa dall'encoder ottico incrementale relativo tipo Hewlett Packard HEDS-5645 E13 calettato sullo stesso alberino del motore che converte il movimento angolare del suo asse rotante in un segnale elettrico digitale.

L'encoder incrementale segnala unicamente gli incrementi (variazioni) rilevabili rispetto a un'altra posizione assunta come riferimento; è costituito da un disco di materiale plastico sul quale sono stati ricavati dei fori o meglio alcune zone trasparenti attraverso le quali è possibile il passaggio di un fascio luminoso generato da un fotoemettitore e ricevuto da un fotorilevatore che a sua volta invia un segnale di uscita.

La rilevazione dello spostamento angolare avviene mediante il conteggio di questi impulsi; per poter rilevare il verso di rotazione, l'encoder ha due elementi fotosensibili sfasati tra loro, effettuando un controllo dei fronti di salita degli impulsi si riesce a stabilire il verso di rotazione; una terza uscita I (index) viene generata ad ogni giro completato. Tutte le tre uscite sono a collettore aperto e TTL compatibili, l'encoder ha dimensioni contenute, necessita di una singola alimentazione a 5 Volts ed ha una risoluzione di 200 cicli per rivoluzione.

Per evitare la procedura di "homing" (per esempio in caso di inizializzazione del processore di controllo) anche al costo di una misura meno accurata della posizione effettiva dello scraper, il sistema è stato implementato con encoder assoluti con precisione assoluta di 0.25 mm.

Il funzionamento si basa su dei trasduttori rettilinei di posizione e quindi principalmente sui partitori resistivi: il dispositivo è del tutto simile ad un generico reostato a slitta ma con proprietà meccaniche, precisione e affidabilità nettamente superiori.

La posizione effettiva è ricavata dal rapporto tra la tensione applicata ai capi del trasduttore e quella presente sul suo cursore centrale (contatto scorrevole) solidale allo scraper; per una maggiore precisione le due tensioni vengono riportate con cavo a coppie intrecciate in maniera separata ad un ADC che le campiona, il programma centrale provvederà poi alla loro elaborazione.

Il trasduttore utilizzato è della GEFRAN modello PY1 con corsa elettrica utile di 50mm e resistenza totale di 5 K Ω , la dissipazione massima a 40° C è di 1.2 W mentre la tensione di alimentazione è di 60 V max.

Saranno implementati a breve, sugli altri scrapers già installati precedentemente, trasduttori simili ma con corsa da 25 mm e resistenza da 1 K Ω .

Altre caratteristiche principali del trasduttore sono:

- linearità indipendente entro la CEU (Corsa Elettrica Utile) $\pm 0.1\%$;
- risoluzione praticamente infinita;
- velocità massima di spostamento 10 m/s;
- durata di vita $> 100 \cdot 10^6$ manovre (entro la CEU).

In Fig. 7 viene mostrato l'intero apparato sul banco da laboratorio e in Fig. 8, dopo essere stato assemblato definitivamente sulla macchina e corredato della strumentazione e dei collegamenti necessari al corretto funzionamento; sono visibili il motore, l'encoder relativo incrementale, il trasduttore di posizione e i micro-switches per la limitazione della corsa del motore, oltre ai tubi dell'acqua per il raffreddamento.

La potenza necessaria a energizzare gli avvolgimenti del motore viene fornita da moduli drivers AEC SMD506 che, dotati delle opportune alimentazioni, interconnessioni e protezioni, fanno parte integrante dei cassettei 19" "Scrapers motor driver unit" realizzati dal laboratorio SELCED e che contengono due moduli per ciascun cassetto.

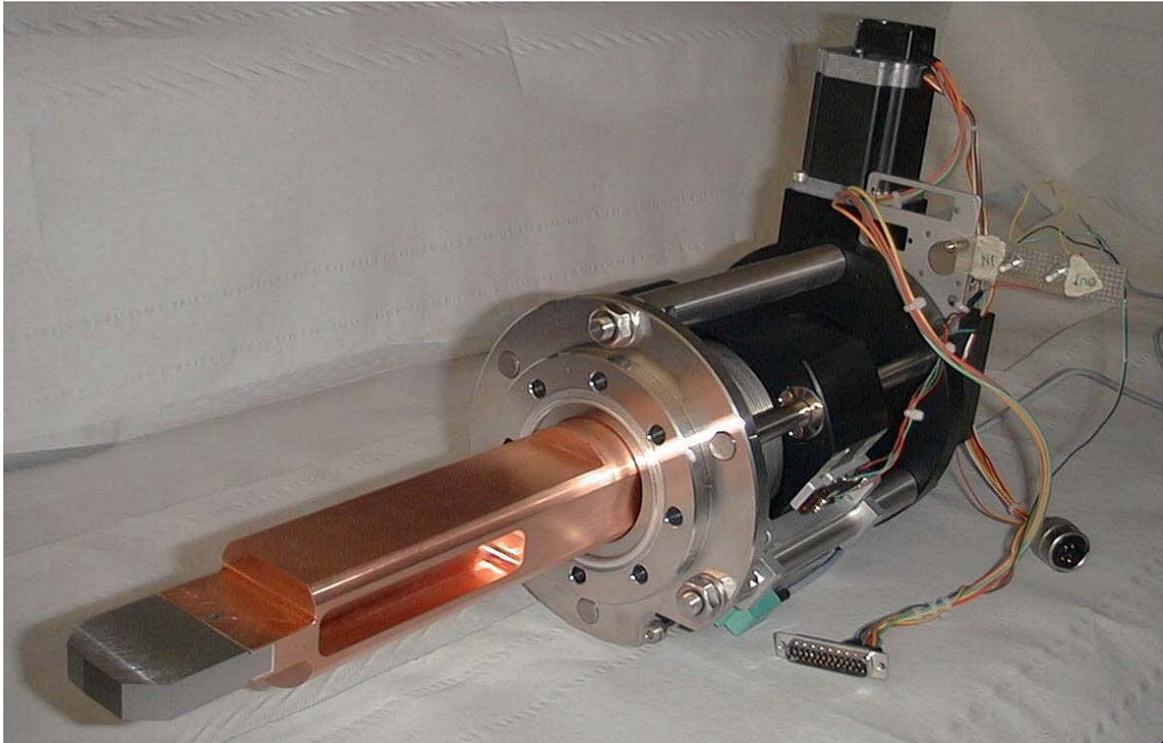


Figura 7 – Scraper in laboratorio

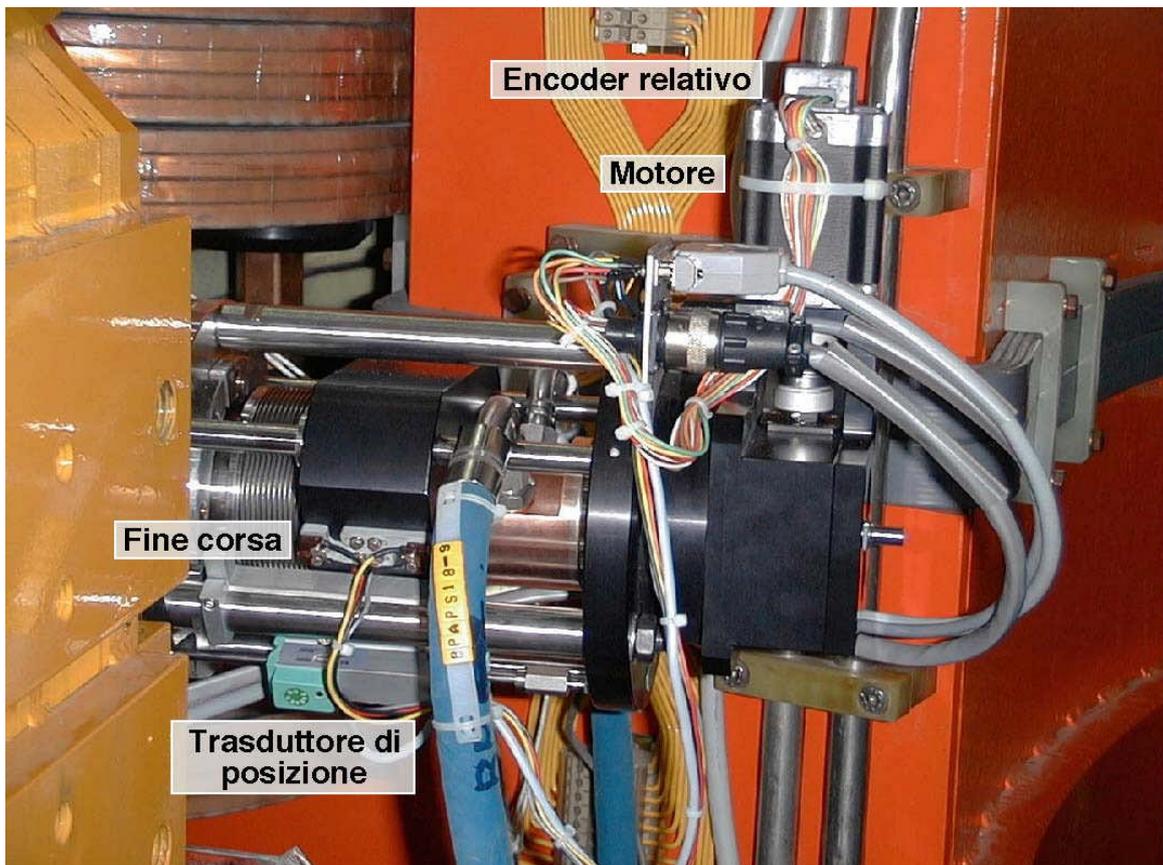


Figura 8 – Scraper installato in macchina

I drivers sono protetti da cortocircuiti, sotto e sovratensioni, surriscaldamenti, hanno ingressi optoisolati e corrente di fase fino a 6 A.

Nella sottostante tabella sono indicate le modalità operative utilizzate per questa applicazione, determinate dal posizionamento di dip-switches interni ai moduli.

DIP-SWITCHES	STATO	MODO DI FUNZIONAMENTO
1	ON	Corrente di fase 2.4 A
2	ON	
3	OFF	
4	ON	Abilitazione equalizzazione della corrente
5	ON	Mezzo passo
6	OFF	
7	OFF	Riduzione 50% della corrente a motore fermo
8	ON	Passo del motore sul fronte di salita del segnale di step

5. Interfacce, controlli e programmi

L'indexer, la cui funzione è quella di generare impulsi di passo e segnali di direzione per il driver e quindi per l'azionamento del motore, è costituito da moduli "IP-Stepper" commercializzati dalla Green Spring e consistono principalmente in un generatore programmabile ad alta velocità PCL240MK, mediante il quale si controllano i movimenti e la velocità dei singoli motori, un contatore digitale LS7166 con cui vengono acquisiti e gestiti i passi effettuati dal motore attraverso l'encoder relativo, e una interfaccia logica FPGA che controlla i relativi comandi e i limiti di spostamento attraverso i fine corsa.

Ogni modulo è in grado di controllare in maniera indipendente il movimento di due diversi motori, ciascun modulo è inserito in un carrier VME che a sua volta può contenerne 4 differenti: il sistema di 22 controlli per le movimentazioni di tutti gli scrapers è quindi configurato con 3 schede VME e un totale di 11 moduli IP-Stepper.

Per l'adattabilità delle varie interconnessioni e la gestione dei livelli, le uscite dei moduli non vengono collegate direttamente alla "Scrapers motor driver unit" e quindi ai drivers di potenza ma a dei cassettei standard 19" "Controlli e comandi movimentazioni scrapers" anch'essi realizzati dal laboratorio SELCED, analogamente anche i trasduttori di posizione sono stati interconnessi al sistema di acquisizione (attualmente in corso di sviluppo) attraverso ulteriori cassettei a medesimo standard meccanico.

La CPU remota (DEVIL), già predisposta ad operare con i vecchi scrapers, è stata implementata per l'acquisizione di un numero superiore di unità Ip-stepper; la stessa opera una rapida scansione di tutti gli oggetti installati in macchina secondo un elenco predefinito da un Database statico (indirizzo delle schede VME, caratteristiche proprie dei motori, step per rivoluzione, etc).

Le informazioni riguardanti le variabili dinamiche dei vari oggetti (posizione degli encoders relativi, situazione dei fine-corsa, fault dei drivers di potenza, etc.) vengono gestite da una globale dinamica alla quale abbiamo accesso attraverso il programma esecutivo. I dati contenuti vengono in parte visualizzati, in parte utilizzati come variabili locali ed altri ancora gestiti come dati di servizio.

I comandi sono codificati secondo un protocollo con sintassi comune a tutti i programmi del sistema di controllo centrale (OPAL, SETT, STOP, MODE, etc); il posizionamento degli scrapers avviene attraverso un calcolo degli steps da inviare al sistema, ad ogni singolo step corrispondono $0.19 \mu\text{m}$ di spostamento totale, considerando la velocità di 600 steps al secondo se ne ricava che è necessario un secondo per produrre uno spostamento di 0.1125 mm di corsa utile (circa 250 secondi per tutta la corsa). I moduli drivers sono stati posizionati a ridosso degli scrapers utilizzando cavi di collegamento motore/driver molto corti ad evitare abbassamenti di tensione.

Le singole schede elettroniche sono state racchiuse in contenitori metallici per aumentare lo schermaggio ai disturbi, le linee a corrente alternata sono state opportunamente filtrate e tutti i dispositivi impiegati utilizzano segnali d'ingresso e/o d'uscita optoisolati. Sono state particolarmente curate le connessioni da e verso terra dei singoli componenti e relativi contenitori, evitando collegamenti "daisy-chained" e preferendo collegamenti diretti secondo lo schema a singolo punto di terra; sono stati utilizzati cavi a coppie intrecciate schermati per le interconnessioni dei motori, dei drivers e dei segnali di controllo e tenute separate le linee di pilotaggio da quelle di controllo dei singoli motori.

Il programma esecutivo consente una piena remotizzazione di tutto il sistema di azionamento e controllo dei motori. Attraverso la finestra di interfaccia utente (Fig. 9) è possibile:

- selezionare l'elemento desiderato;
- leggere le effettive posizioni di tutti gli scrapers in tempo reale, anche quando uno o più di uno sono in movimento e non si è raggiunto il limite preimpostato della corsa;
- fermare immediatamente la corsa del singolo e/o di tutti gli scrapers contemporaneamente anche se non si è raggiunta la posizione preimpostata;
- impostare il valore di set, ossia il limite di corsa espresso in millimetri, ed inviare il comando di esecuzione;
- salvare la posizione di tutti gli scrapers su un file;
- caricare un file precedentemente configurato;
- caricare e/o confrontare un file preconfigurato con quello attuale;
- estrarre con un unico comando tutti gli scrapers contemporaneamente o il solo elemento selezionato;
- visualizzare:
 - il punto di locazione dello scraper selezionato, nel contesto della macchina, con l'indicazione completa del suo nome su un sinottico a lettura diretta;
 - lo stato dei fine corsa, sia quando lo scraper è completamente inserito che quando è completamente estratto;
 - l'inserimento effettivo della targhetta all'interno della camera da vuoto su un apposito display attraverso una simulazione grafica;
 - il conteggio automatico del centraggio dell'apertura della finestra utile risultante per il fascio di particelle;
- avere una segnalazione di anomalia quando:
 - il limite di corsa impostato differisce dall'effettiva posizione acquisita;
 - si è verificato un generico fault nei circuiti di pilotaggio dei motori;

- inizializzare il sistema, ossia resettare la locazione di memoria inerente l'encoder relativo dell'elemento selezionato; operazione che in maniera automatica viene eseguita solo dopo aver riposizionato lo scraper completamente fuori dall'apertura della camera da vuoto: il comando oltrechè per il singolo elemento è previsto poterlo effettuare anche per tutti gli scrapers contemporaneamente.

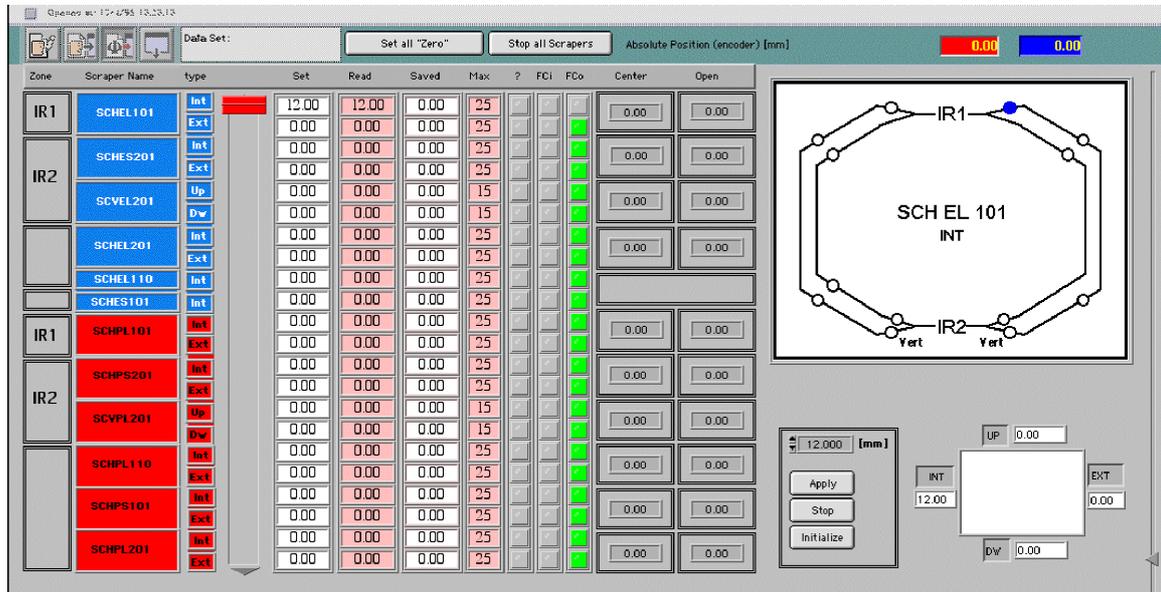


Figura 9 – Finestra interfaccia utente

Per evitare lunghi ed inutili spostamenti degli scrapers è consigliabile che l'operazione di inizializzazione venga eseguita solo all'occorrenza, cioè quando viene segnalata dal sistema una anomalia come descritto al punto precedente.

7. Ringraziamenti

Si ringraziano M. Serio per la disponibilità e la consulenza tecnica nel progetto di massima, G. Di Pirro per le scelte e le valutazioni tecniche e la consulenza per l'interfacciamento dei programmi al sistema di controllo centrale.

Una citazione particolare va agli altri componenti del laboratorio SELCED: U. Frasacco per i cablaggi di tutta la strumentazione prodotta, O. Giacinti e D. Pellegrini per le interconnessioni dei singoli apparati al sistema di controllo centrale e F. Ronci per i disegni delle parti meccaniche della strumentazione.

8. Bibliografia

- [1] O. Coiro, F. Galletti: "Controlli e Movimentazioni Fenditure e Targhette della Linea di Trasferimento", DAFNE TECHNICAL NOTE CD-11, 5/7/2001
- [2] G. Di Pirro, G. Mazzitelli, C. Milardi, F. Sannibale, A. Stecchi, A. Stella: "The Evolution and Status of the DAFNE Control System", presented at EPAC2000, 26-30 June 2000, Wien, Austria, LNF-00/021(P).