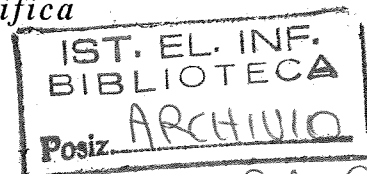


BG-19 Giugno 1993

Contratto di collaborazione tecnico-scientifica
Alenia-GAT/IEI-CNR



Procedure di acquisizione mediante la stazione di lavoro
per ispezione US

BG-19

Luciano Azzarelli, Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti
Andrea Marchetti, Salvatore Minutoli

Istituto di Elaborazione della Informazione - CNR

Indice

Introduzione	pag.5
Definizioni generali	pag.7
Modalità di ispezione	pag.13
Delimitazione dei parametri di scansione	pag.17
Controllo delle coordinate di scansione	pag.21
Interfaccia grafica del programma di acquisizione	pag.27
Sessione di lavoro	pag.35
Riferimenti	pag.41

La redazione del testo è stata curata da M. Ballati

Handwritten notes or a small diagram in the top left corner, possibly related to a technical drawing or a specific subject. The text is illegible due to the low resolution and blurriness of the scan.

ATTENZIONE

L'area di lavoro del braccio meccanico del robot dev'essere adeguatamente segnalata e protetta in modo da impedire l'accesso durante il funzionamento.

Il pulsante di arresto d'emergenza del robot dev'essere facilmente accessibile e posto in zona di sicurezza.

I controlli sulle coordinate del robot risultano efficaci solo se la vasca d'immersione è posta nella posizione specificata e impediscono soltanto che il braccio meccanico o la sonda urtino contro le pareti della vasca; un errato inserimento di coordinate può comunque fare collidere la sonda col campione in esame.

I parametri inseriti nei programmi di scansione controllano in maniera esatta la posizione e l'orientamento della sonda solo se si fa uso del tubo portasonda impiegato nella sperimentazione.

Introduzione

La stazione di lavoro per ispezione a ultrasuoni realizzata nell'ambito della collaborazione tra l'IEI e il centro ricerche dell'Alenia GAT [1] offre prestazioni che la rendono adatta a impieghi di laboratorio piuttosto che ad applicazioni di controllo di qualità in processi industriali.

Infatti, la scansione viene eseguita facendo uso di un braccio robotizzato a sei assi, mediante il quale è possibile ottenere un orientamento qualsiasi della sonda a ultrasuoni, e di conseguenza ispezionare campioni di forma qualunque, anche non usati effettivamente per la costruzione di velivoli.

In teoria è possibile controllare i movimenti del braccio in modo da spostare la sonda all'interno di una sfera, che costituisce lo spazio di lavoro intrinseco del robot; in pratica la sonda dev'essere spostata soltanto all'interno di un volume delimitato da un parallelepipedo, in quanto il metodo di ispezione a ultrasuoni impiegato comporta che il campione da esaminare sia immerso in acqua: non vengono così sfruttate completamente le possibilità di movimentazione del robot. Inoltre, la sonda può essere spostata entro un raggio di circa un metro rispetto al basamento del robot: per ispezionare campioni con dimensioni superiori è necessario usare ulteriori assi per lo spostamento del robot o del campione.

Il braccio meccanico è in grado di traslare la sonda su traiettorie rettilinee con velocità sino a circa 1 m/s; in pratica però le velocità di ispezione realmente ottenibili sono alquanto inferiori per diversi motivi. Infatti, la velocità indicata in precedenza non può essere raggiunta se l'orientamento della sonda dev'essere variato, come nel caso di ispezione di superfici curve, oppure se la corsa di scansione è contenuta nell'ordine di decine di centimetri; inoltre, la velocità dev'essere ridotta se si vogliono ottenere un'elevata precisione o risoluzione di misura. Ulteriori vincoli sono imposti dai dispositivi usati per il trattamento del segnale a

ultrasuoni, che fanno sì che il movimento della sonda debba essere rallentato per ottenere una corretta acquisizione dei dati: mediante la stazione di lavoro è dunque possibile esaminare campioni con dimensioni contenute e con forme complesse, in modo da ricavare mappe di vario genere in tempi che sono inversamente proporzionali alla risoluzione di misura e che dipendono dalla forma del campione [2].

Per quanto concerne il software, la stazione è dotata di diversi programmi specializzati per l'ispezione di differenti tipi di superficie [3,4,5]; in generale, l'uso di questi programmi comporta una conoscenza dei vari componenti della stazione, e richiede attenzione nell'inserimento dei parametri di scansione al fine di non danneggiare la vasca, il campione o la sonda a ultrasuoni. Invece, la procedura descritta in questo lavoro, grazie a una serie di controlli automatici e all'impiego di un interfaccia di tipo iconico, consente anche a utenti non particolarmente specializzati di usare la stazione di lavoro per compiere operazioni utili sia al rilevamento di difetti che alla caratterizzazione di materiali.

1. Definizioni generali

Per comodità si riportano le descrizioni dell'architettura della stazione di lavoro e dei differenti sistemi di riferimento impiegati per la definizione delle coordinate di acquisizione [6,7].

L'architettura generale della stazione è mostrata in fig. 1.1.

L'unità di controllo del robot IRB2000 (S3) comunica col calcolatore PC attraverso la porta seriale RS232 per il trasferimento di parametri e informazioni di stato.

Sulla porta I/O di S3 vengono generati gli impulsi di sincronismo che vengono inviati al generatore US (Echograph 1030); quest'ultimo pilota la sonda a ultrasuoni, montata sul Tool Center Point (TCP) del braccio meccanico del robot.

Il segnale a radiofrequenza ricavato dall'eco ultrasonoro viene inviato all'oscilloscopio digitale LC (LeCroy 9450), acquisito e campionato; attraverso la porta parallela GPIB i dati digitali ricavati dal segnale acquisito vengono inviati al calcolatore (PC 286 IBM compatibile).

Il calcolatore contiene una scheda di memoria video nella quale vengono immagazzinati i dati ottenuti durante la scansione del campione: questi dati vengono trasformati in segnale video RGB in modo da ottenere sul monitor pittorico la mappa di scansione.

Le coordinate del TCP del braccio meccanico sono riferite al sistema di riferimento fisso del robot $\Omega(x,y,z)$, solidale col basamento del robot.; il TCP è a sua volta l'origine del sistema di riferimento mobile $\Omega'(x',y',z')$, e la sonda è solidale con l'asse x' , a distanza costante L dal TCP (v. fig. 1.2).

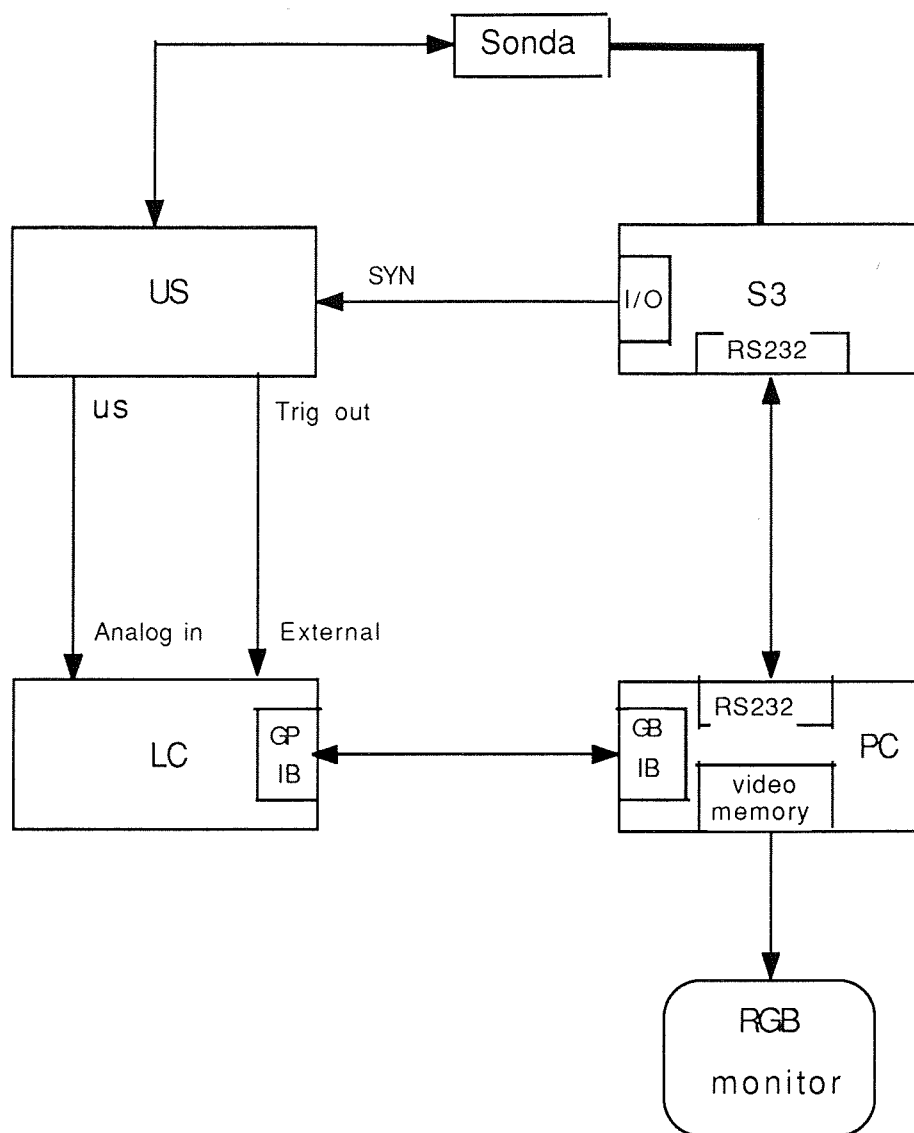


Fig. 1.1: Architettura della stazione di lavoro per l'ispezione a ultrasuoni.

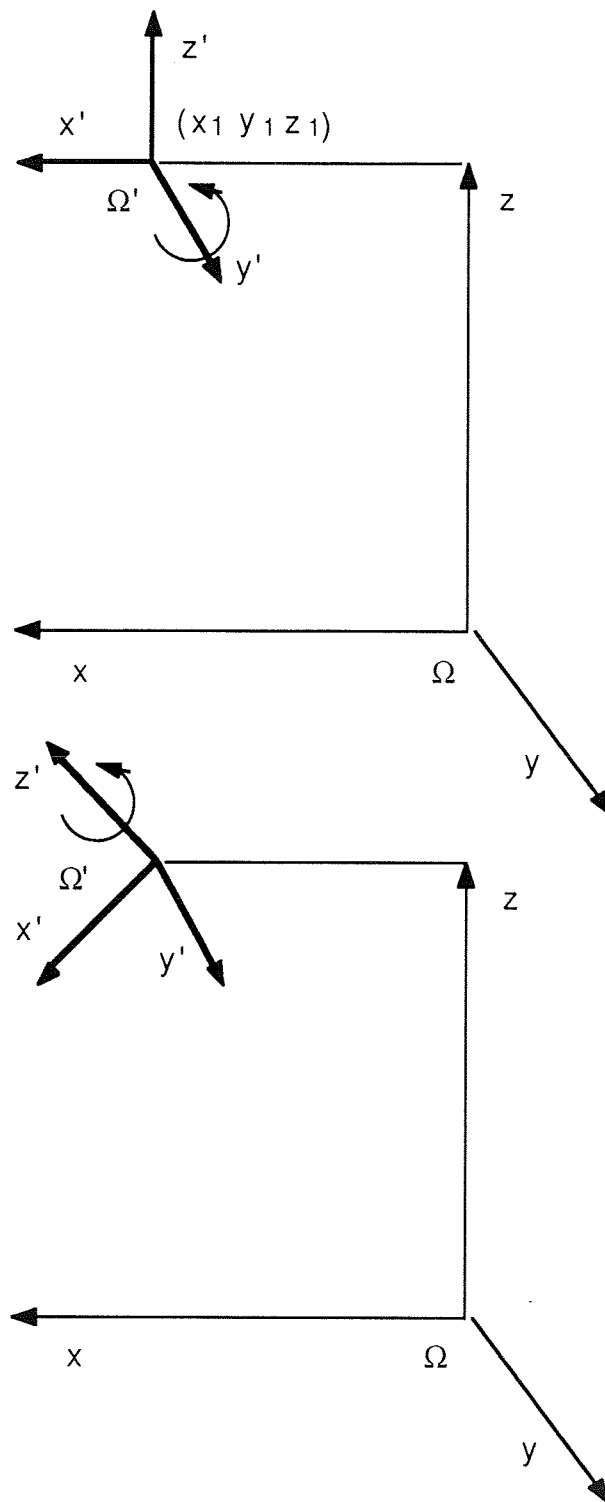


Fig. 1.2: Sistemi di riferimento del robot IRB2000.

In ogni punto di scansione la sonda deve trovarsi sulla perpendicolare al piano tangente alla superficie del campione, a distanza costante e prefissata. La posizione del punto di scansione è individuata da una terna di coordinate x, y, z rispetto a Ω , mentre il piano tangente viene definito mediante una coppia di angoli α e β , misurati rispetto ai piani principali di Ω : noti $x, y, z, \alpha, \beta, L$, il corretto posizionamento della sonda è ottenuto specificando le coordinate del TCP e l'orientamento di Ω' rispetto a Ω .

Sull'interfaccia iconica del modulo di acquisizione sono previsti dei campi per l'inserimento di parametri nel caso di scansione di superfici piane: le coordinate x_i, y_i e z_i d'inizio scansione e le corse di scansione Δx e Δy . La coordinata z , che dev'essere tale che l'estremità della sonda si trovi alla giusta distanza dal campione, viene inserita mediante la tastiera numerica come i parametri Δx e Δy , mentre gli altri due possono essere definiti anche tramite mouse, spostando un cursore su una rappresentazione schematica della vasca a immersione.

L'interfaccia fa uso di un sistema di riferimento $\Omega_r (x_r, y_r, z_r)$, con l'origine coincidente con quella del sistema di riferimento fisso Ω ; la trasformazione di coordinate tra i due sistemi è definita da (v. fig.1.3):

$$\begin{aligned}x_r &= c_1 - x \\y_r &= c_2 - y \\z_r &= z\end{aligned}\tag{1.1}$$

Nel caso di scansione di un piano orizzontale ($\alpha = \beta = 0$), gli assi x e y sono paralleli al pavimento e la sonda si muove ad altezza costante da terra; la rappresentazione della vasca corrisponde ad una vista dall'alto in direzione verticale e perpendicolare al pavimento.

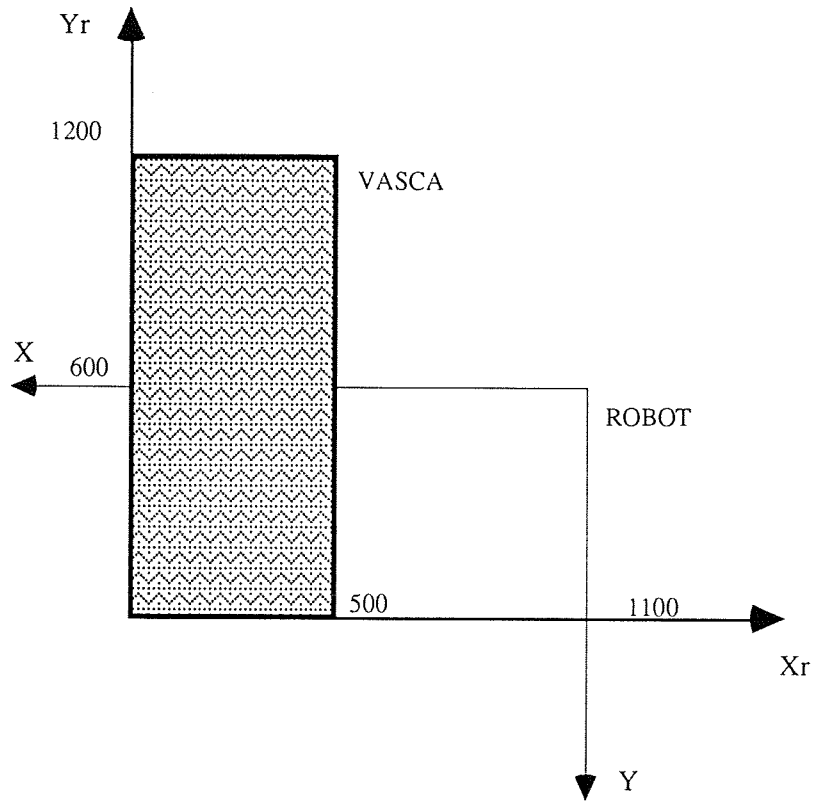


Fig. 1.3: Sistema di riferimento dell'interfaccia uomo-macchina.

Nel caso di scansione di un piano inclinato, gli assi x , y e z vengono ruotati in funzione degli angoli di inclinazione α e β e la sonda si muove su traiettorie rettilinee, con z che varia in funzione delle coordinate di scansione; la rappresentazione della vasca corrisponde ad una vista dall'alto in direzione perpendicolare al piano da esaminare.

Nel caso di scansione a soglia singola, sul monitor pittorico della stazione si ottiene una mappa dei valori di misura alle coordinate di acquisizione; la corrispondenza tra le coordinate schermo x_s , y_s e il sistema Ω_r è data da:

$$\begin{aligned}x_s &= \frac{x_r - x_i}{p \ p_v} \\y_s &= \frac{y_i - y_r}{p \ p_v}\end{aligned}\tag{1.2}$$

dove p è il passo di scansione e p_v è il passo di visualizzazione, definito dal rapporto tra il numero di punti per riga e il numero di punti rappresentati; si ha $p_v \geq 1$.

La regione da esaminare può essere definita selezionando una finestra sul monitor pittorico mediante mouse; in questo caso l'interfaccia provvede a eseguire le trasformazioni definite in 1.1 e 1.2 e a utilizzare i valori dei parametri α , β e L per determinare i valori di locazione e orientamento del TCP rispetto al sistema di riferimento Ω .

2. Modalità di ispezione

La procedura per la caratterizzazione di difetti mediante rilevamento a ultrasuoni è composta di tre fasi, che normalmente vengono eseguite con una sequenza prefissata.

a) Ispezione lasca

In questa fase il campione in esame viene scandito con un reticolo di campionamento a maglia larga, di 1-2 mm di passo, e viene ricavata una mappa C-scan che rappresenta per ciascun punto il valore massimo del segnale di eco all'interno di una finestra temporale prefissata.

Prima di eseguire l'ispezione sono necessarie le seguenti calibrazioni sui circuiti analogici e digitali per il trattamento del segnale US.

1. Sincronizzazione del trigger dell'oscilloscopio sull'eco frontale del segnale di eco; utilizzando sonde focalizzate si deve impostare un ritardo rispetto al segnale di eccitazione pari al tempo di propagazione in acqua del segnale US su un percorso di lunghezza doppia della lunghezza focale della sonda.

2. Centatura dell'intervallo temporale sull'eco di fondo del segnale; normalmente gli estremi dell'intervallo non vengono modificati durante la scansione ed è quindi possibile esplorare in maniera corretta solo campioni con spessore costante.

Al fine di ridurre il tempo necessario per il rilevamento della mappa questa ispezione può essere eseguita con una scansione di tipo asincrono, caratterizzata dalle seguenti condizioni.

Fissati per programma gli estremi x_1 e x_2 di una riga di scansione, il braccio meccanico trasla la sonda nell'intervallo $I = (x_1, x_2)$ con una velocità approssimativamente costante v , mentre il sistema di rilevamento degli ultrasuoni acquisisce gli impulsi con la frequenza di ripetizione f ; il passo di campionamento lungo la riga risulta quindi:

$$p \approx \frac{v}{f} = v T \quad (2.1)$$

dove $T = 1/f$. Il numero di punti di campionamento per riga è dato da:

$$N = \frac{I}{p} \approx \frac{If}{v} = \frac{I}{vT} \quad (2.2)$$

Poiché la velocità di traslazione non è costante, la mappa risultante è distorta; in pratica si ha un addensamento dei punti di campionamento, e quindi una distorsione dell'immagine, in prossimità degli estremi della riga di scansione nella direzione x ; nella direzione y si ha invece un avanzamento a passi discreti e costanti, e non si ha quindi distorsione dell'immagine.

Inoltre, poiché il generatore US non è sincronizzato con il movimento della sonda, le coordinate x_i di due righe, nominalmente identiche, possono in realtà differire di $\pm p$.

b) Ispezione fine

Se nella fase precedente sono state individuate delle zone che presentano variazioni anomale dell'intensità del segnale riflesso, si possono ricavare ulteriori mappe C-scan con un reticolo di campionamento a maglia fine, fino a passi di 0,1 mm, limitando ciascuna scansione ad una ROI contenente la zona di anomalia.

In questa fase non è necessario eseguire operazioni di calibrazione, in quanto rimangono valide quelle compiute al punto

precedente. L'ispezione fine viene fatta impiegando una scansione di tipo sincrono, durante la quale il generatore US viene pilotato in modo da emettere un impulso quando la sonda è ferma a ogni coordinata di scansione; in questo modo si ha passo di campionamento costante e l'immagine risultante è priva di distorsioni ed ha la precisione determinata dalle caratteristiche del robot (0.1 mm).

Poiché la mappa ricavata al punto a) presenta un certo grado di distorsione, è opportuno delimitare delle ROI sovrabbondanti, in modo che durante l'ispezione fine vengano effettivamente esplorate le zone anomale.

c) Ispezione a onda completa

In questa fase viene ricavata una matrice che contiene i dati digitali ottenuti convertendo il segnale di tipo A-scan in corrispondenza di ciascun punto di misura; l'ispezione a onda completa consente di caratterizzare il campione in esame e può essere eseguita sia successivamente alla fase b) che alternativamente ad essa.

Prima di eseguire l'ispezione a onda completa è necessario definire correttamente la modalità di acquisizione dei dati; ciò comporta le seguenti operazioni.

1. Sincronizzazione del trigger dell'oscilloscopio sull'eco frontale del segnale di eco: valgono le condizioni già espresse al punto 1 della fase a).

2. Regolazione della base dei tempi: l'oscilloscopio va regolato in modo che la frequenza di campionamento sia ragionevolmente maggiore (3-4 volte) della frequenza di risonanza della sonda e in modo che l'intervallo di acquisizione comprenda sia l'eco frontale che l'eco di fondo.

3. Definizione del numero dei punti di campionamento: il vettore dei dati ottenuti in corrispondenza di ciascun punto di misura può essere ridotto specificando per programma sia gli estremi degli elementi da trasferire, sia il passo di lettura. Questa operazione consente di eliminare eventuali dati ridondanti, dovuti al fatto che la regolazione della base dei tempi dell'oscilloscopio può non consentire una completa ottimizzazione rispetto alle condizioni di lavoro; prima di ridurre i dati è però necessario verificare che siano rispettate le condizioni di corretto campionamento del segnale.

Con questo tipo di ispezione si ottiene una mappa di tipo B-scan; selezionando le righe di questa mappa si possono avere i tracciati A-scan in corrispondenza dei vari punti di misura.

3. Delimitazione dei parametri di scansione

La vasca a immersione utilizzata nella stazione di lavoro ha le seguenti dimensioni, espresse in mm:

$$\Delta x = 920 \quad \Delta y = 1580 \quad (3.1)$$

Al fine di proteggere la sonda da eventuali urti contro le pareti della vasca, le dimensioni dell'area di scansione sono ridotte a (v. cap. 4):

$$\Delta x = 500 \quad \Delta y = 1200 \quad (3.2)$$

Al fine di ridurre i tempi di acquisizione dei dati, la scansione di riga è pilotata da programmi residenti nell'unità di controllo S3; in questo modo le corse di scansione sono ridotte a:

$$\Delta x = 400 \quad \Delta y = 400 \quad (3.3)$$

Con una singola scansione si può dunque esplorare un'area di $400 \cdot 400 \text{ mm}^2$ all'interno di un'area utile di $500 \cdot 1200 \text{ mm}^2$: quindi l'intera area utile può essere esplorata con scansioni successive.

La precisione di misura delle coordinate spaziali è determinata dalla risoluzione spaziale del robot, che vale:

$$p_0 = 0.1 \text{ mm} \quad (3.4)$$

Il passo di campionamento spaziale p , eguale nelle direzioni x e y , è un multiplo intero di p_0 ; alla massima risoluzione, nel caso di scansione a soglia singola si ottiene una matrice che può essere definita da un massimo di 4000×4000 elementi: sul calcolatore della stazione è stata dunque prevista la possibilità di immagazzinare matrici di dati espressi su 1 byte, fino alla dimensione di 4096×4096 .

In generale, il numero di punti di campionamento per riga, N_r , è dato da:

$$N_r = \frac{\Delta y}{p} \leq 4000 \quad (3.5)$$

La memoria video installata sul calcolatore della stazione ha una capacità di 1024×1024 byte, e sul monitor pittorico possono essere rappresentate immagini digitali definite da 512×512 pixel: in questo modo si possono rappresentare integralmente mappe di scansione ricavate da non più di 512 punti per riga, oppure si possono esplorare mediante panning delle mappe costituite da un massimo di 1024 punti per riga. Nel caso di monitoraggio su schermata singola si ha:

$$N_r \leq 512 \quad (3.6)$$

Sostituendo la 3.5 in 3.6 si ottiene:

$$\frac{\Delta y}{p} \leq 512 \quad (3.7)$$

Alla massima risoluzione ($p=0.1$ mm) si può quindi esaminare una riga corrispondente a un segmento di ≈ 5 cm.

Nel modo di scansione sincrono, il tempo necessario per l'acquisizione di ogni misura è ≈ 110 ms, mentre il tempo di ritorno di riga, durante il quale i dati vengono trasferiti nella memoria video, è di ≈ 1 s: la scansione di un'area di 400×400 mm² richiede quindi ≈ 300 min (5 ore). Di conseguenza, è conveniente eseguire dapprima un'ispezione veloce, in modo da localizzare le aree di interesse, e successivamente scansioni ad alta risoluzione, riducendo il più possibile le singole zone da esaminare. La rapidità di acquisizione dell'ispezione grossolana comporta però una certa imprecisione nella determinazione delle coordinate; inoltre, poiché

la corsa di scansione è limitata a 400 mm, la velocità effettiva di traslazione della sonda non corrisponde esattamente al parametro di velocità impostato nel programma che controlla il movimento, e non è quindi possibile definire il passo di campionamento con la stessa risoluzione ottenibile nel caso di scansione sincrona.

Il periodo di ripetizione degli impulsi emessi dal generatore US nella condizione di sincronismo interno è di 2.3 ms, mentre il periodo di sincronismo dell'oscilloscopio digitale, con la base dei tempi utilizzata, è di ≈ 9 ms: il passo di campionamento lungo una riga viene dunque determinato inserendo nell'eq. 2.1 il valore $T \approx 9.2$ ms. Considerando i valori nominali di velocità di traslazione del TCP, $v_{\min} \approx 10$ mm/s e $v_{\max} \approx 1000$ mm/s, si ottiene:

$$\begin{aligned} p_{\min} &= v_{\min} T \approx 0.1 \text{ mm} \\ p_{\max} &= v_{\max} T \approx 9 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.8)$$

In pratica, durante la scansione asincrona per ridurre i tempi di acquisizione si utilizzano velocità di traslazione maggiori di 100 mm/s, però, impostando velocità nominali $v > 500$ mm/s non si hanno in realtà variazioni apprezzabili rispetto a $v = 500$ mm/s. Si è quindi stabilito un intervallo di velocità da 100 mm/s a 500 mm/s, con variazioni di 100 mm/s, e il passo di campionamento nominale risulta così compreso tra ≈ 1 mm e ≈ 4.5 mm.

Il passo p è teoricamente identico nelle direzioni x e y . In realtà, lungo l'asse y si ha un avanzamento col valore nominale di p , mentre lungo l'asse x si hanno passi di campionamento con la precisione e la ripetibilità descritte in precedenza. Al fine di ottimizzare i tempi di acquisizione si usa un passo $p=2$ mm, per cui si hanno 200 righe di scansione su una corsa di 400 mm. Per ottenere $N=200$ punti su una riga di 400 mm si deve avere (v. eq. 2.2):

$$200 \approx \frac{400}{v \cdot 9} \approx \frac{45}{v} \text{ m/s} \quad (3.9)$$

e quindi:

$$v \approx 225 \text{ mm/s} \quad (3.10)$$

In pratica, sempre al fine di ridurre i tempi di acquisizione, si usa una velocità di traslazione più elevata: alla velocità nominale $v=300 \text{ mm/s}$ si ottengono effettivamente $41 \div 47$ misure su una corsa di 400 mm lungo l'asse x , corrispondenti ad un passo di campionamento di $\approx 9 \text{ mm}$; per ciascuna riga i dati di acquisizione vengono interpolati in modo da ricavare 200 valori. Poiché il campionamento lungo l'asse y è eseguito con passo effettivo di 2 mm , con questo tipo di scansione si possono individuare e localizzare difetti o zone anomale con dimensioni lineari di $\approx 4 \text{ mm}$; il tempo di scansione di un'area di $400 \times 400 \text{ mm}^2$ risulta $\approx 12 \text{ min}$.

4. Controllo delle coordinate di scansione

Durante la scansione di un campione, le coordinate del TCP del robot possono variare all'interno di intervalli Δx , Δy e Δz che dipendono sia dalle dimensioni della vasca a immersione e dalla sua posizione rispetto al braccio meccanico, sia dall'orientamento della sonda.

Nel caso di scansione con sonda parallela all'asse z del sistema di riferimento fisso del robot $\Omega(x,y,z)$, gli intervalli di scansione hanno la massima dimensione; si ha:

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_2 - x_1 \\ \Delta y &= y_2 - y_1\end{aligned}\tag{4.1}$$

La coordinata z rimane costante durante la scansione e dev'essere tale che l'estremità della sonda sia a distanza prefissata (ad es. 50 mm) dalla superficie del campione immerso nella vasca: dev'essere dunque:

$$\begin{aligned}z &> z_1 = 900 \text{ mm} \\ z &< z_2 = z_1 + h\end{aligned}\tag{4.2}$$

dove z_1 è l'altezza del fondo della vasca rispetto a Ω e h è l'altezza del livello dell'acqua.

Quando la sonda è inclinata in funzione degli angoli α e β rispetto ai piani xz e yz di Ω , gli estremi degli intervalli di scansione devono essere modificati per evitare che il polso del braccio meccanico urti le pareti della vasca o si immerga nell'acqua: si deve cioè sommare o sottrarre alle coordinate estreme x e y un termine c il cui valore dipende dalla dimensione del tubo portasonda e dagli angoli di inclinazione. Indicando con θ un generico angolo si ha:

$$c \approx A \sin \theta\tag{4.3}$$

dove A è funzione della lunghezza L del tubo. Per L = 380 mm si ha:

$$c \approx 450 \sin \theta \quad (4.4)$$

con $\theta < 45^\circ$ e c espresso in mm.

Inoltre, gli intervalli di scansione Δx e Δy devono essere ridotti in modo che la sonda non esca dall'acqua.

Si considerino scansioni di superfici piane, con angoli α e β costanti; si hanno così i seguenti casi.

$$\alpha = 0, \beta = 0$$

$$\Delta x \leq (x_2 - x_1)$$

$$\Delta y \leq (y_2 - y_1)$$

$$x_1 \leq x \leq x_2$$

$$y_1 \leq y \leq y_2$$

$$\alpha \neq 0, \beta = 0$$

$$\Delta x \leq L \cos \alpha / \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Delta y \leq (y_2 - y_1)$$

$$\alpha > 0$$

$$x_1 \leq x \leq x_2 - 450 \sin \alpha$$

$$y_1 \leq y \leq y_2$$

$$\alpha < 0$$

$$x_1 + 450 \sin \alpha \leq x \leq x_2$$

$$y_1 \leq y \leq y_2$$

$$\alpha = 0, \beta \neq 0$$

$$\Delta x \leq (x_2 - x_1)$$

$$\Delta y \leq L \cos \beta / \operatorname{tg} \beta$$

$$\beta > 0$$

$$x_1 \leq x \leq x_2$$

$$y_1 + 450 \sin \beta \leq y \leq y_2$$

$$\beta < 0$$

$$x_1 \leq x \leq x_2$$

$$y_1 \leq y \leq y_2 - 450 \sin \beta$$

$$\alpha \neq 0, \beta \neq 0$$

$$\Delta x \leq L \cos \alpha / \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Delta y \leq L \cos \beta / \operatorname{tg} \beta$$

$$\alpha < 0, \beta < 0$$

$$x_1 + 450 \sin \alpha \leq x \leq x_2$$

$$y_1 \leq y \leq y_2 - 450 \sin \beta$$

$$\alpha < 0, \beta > 0$$

$$x_1 + 450 \sin \alpha \leq x \leq x_2$$

$$y_1 + 450 \sin \beta \leq y \leq y_2$$

$$\alpha > 0, \beta < 0$$

$$x_1 \leq x \leq x_2 - 450 \sin \alpha$$

$$y_1 \leq y \leq y_2 - 450 \sin \beta$$

$$\alpha > 0, \beta > 0$$

$$x_1 \leq x \leq x_2 - 450 \sin \alpha$$

$$y_1 + 450 \sin \beta \leq y \leq y_2$$

Nelle espressioni precedenti le funzioni trigonometriche vanno calcolate sui valori assoluti degli angoli.

L'interfaccia iconica fa uso di un proprio sistema di riferimento $\Omega_r (x_r, y_r, z_r)$; la trasformazione delle coordinate riferite a Ω è definita da (v. eq. 1.1):

$$\begin{aligned} x_r &= 1100 - x \\ y_r &= 600 - y \\ z_r &= z \end{aligned} \tag{4.5}$$

dove i valori sono espressi in mm.

Imponendo al robot lo stato di reset, il braccio si mette in posizione orizzontale; per assicurarsi che durante questo movimento il tubo portasonda non urti le pareti della vasca nel caso di scansione con sonda verticale, si fissano i seguenti estremi delle coordinate di scansione

$$\begin{aligned} x_1 &= 600 & x_2 &= 1100 \\ y_1 &= -600 & y_2 &= 600 \end{aligned} \quad (4.6)$$

In Ω_r si hanno quindi i seguenti estremi:

$$\begin{aligned} x_{r1} &= 0 & x_{r2} &= 500 \\ y_{r1} &= 0 & y_{r2} &= 1200 \end{aligned} \quad 4.7$$

Si ha inoltre:

$$\begin{aligned} \Delta x_r &= \Delta x = 500 \\ \Delta y_r &= \Delta y = 1200 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Le condizioni precedentemente determinate diventano:

$$\underline{\alpha = 0, \beta = 0}$$

$$\begin{aligned} \Delta x_r &\leq 500 \\ \Delta y_r &\leq 1200 \\ 0 &\leq x_r \leq 500 \\ 0 &\leq y_r \leq 1200 \end{aligned}$$

$$\underline{\alpha \neq 0, \beta = 0}$$

$$\begin{aligned} \Delta x_r &\leq L \cos \alpha / \operatorname{tg} \alpha \\ \Delta y_r &\leq 1200 \end{aligned}$$

$$\underline{\alpha > 0}$$

$$\begin{aligned} 450 \sin \alpha &\leq x_r \leq 500 \\ 0 &\leq y_r \leq 1200 \end{aligned}$$

$$\underline{\alpha < 0}$$

$$\begin{aligned} 0 &\leq x_r \leq 500 - 450 \sin \alpha \\ 0 &\leq y_r \leq 1200 \end{aligned}$$

$$\alpha = 0, \beta \neq 0$$

$$\Delta x_r \leq 500$$

$$\Delta y_r \leq L \cos \beta / \operatorname{tg} \beta$$

$$\beta > 0$$

$$0 \leq x_r \leq 500$$

$$0 \leq y_r \leq 1200 - 450 \sin \beta$$

$$\beta < 0$$

$$0 \leq x_r \leq 500$$

$$0 + 450 \sin \beta \leq y_r \leq 1200$$

$$\alpha \neq 0, \beta \neq 0$$

$$\Delta x_r \leq L \cos \alpha / \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Delta y_r \leq L \cos \beta / \operatorname{tg} \beta$$

$$\alpha < 0, \beta < 0$$

$$0 \leq x_r \leq 500 - 450 \sin \alpha$$

$$0 + 450 \sin \beta \leq y_r \leq 1200$$

$$\alpha < 0, \beta > 0$$

$$0 \leq x_r \leq 500 - 450 \sin \alpha$$

$$0 \leq y_r \leq 1200 - 450 \sin \beta$$

$$\alpha > 0, \beta < 0$$

$$450 \sin \alpha \leq x_r \leq 500$$

$$0 + 450 \sin \beta \leq y_r \leq 1200$$

$$\alpha > 0, \beta > 0$$

$$450 \sin \alpha \leq x_r \leq 500$$

$$0 \leq y_r \leq 1200 - 450 \sin \beta$$

5. Interfaccia grafica del programma di acquisizione

L'interfaccia grafica per l'utente è costituita da diverse maschere, che compaiono alternativamente a seconda dello stato del programma; nel caso di sovrapposizione è attiva solo l'ultima maschera richiamata.

La fig. 5.1 mostra l'interfaccia di partenza del programma di acquisizione: essa è costituita sostanzialmente da una barra di menù e da un pannello fisso per i comandi.

5.1. Barra di menù

La barra di menù contiene cinque menù a tendina, selezionabili singolarmente e separatamente, ciascuno dei quali contiene a sua volta diverse voci.

File

Selezionando la voce *Load* si ottiene sul monitor pittorico la rappresentazione di una mappa ricavata in precedenza e memorizzata su disco: viene attivata la maschera Load Image, che contiene un campo per l'inserimento del nome del file e un campo per la selezione della direttrice o della partizione del disco.

Selezionando la voce *Save* si ottiene il salvataggio su file dei dati di acquisizione, insieme con le informazioni relative ai parametri impostati per la scansione: viene attivata la maschera Save Image, che contiene un campo per l'inserimento del nome del file e un campo per la selezione della direttrice o della partizione del disco.

Selezionando la voce *Exit* si esce dal programma.

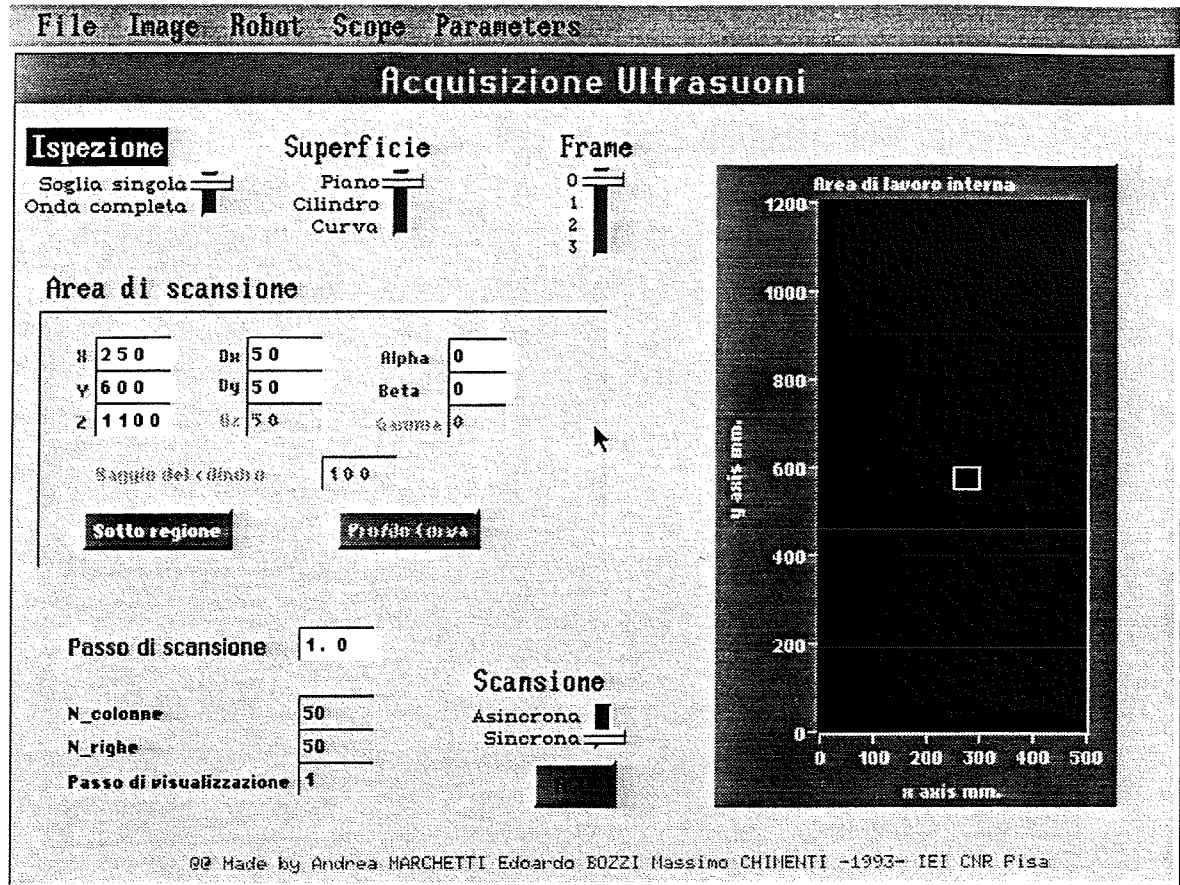


Fig. 5.1: Interfaccia di comunicazione uomo-macchina: display iniziale.

Image

Mediante il comando *Reset* si ottiene l'inizializzazione della scheda di memoria video, usata dalla stazione per la visualizzazione delle mappe acquisite.

Attenzione: questo comando cancella i dati contenuti nella memoria video e dev'essere quindi normalmente eseguito una sola volta all'inizio della sessione di lavoro.

Mediante il comando *Clear* si ottiene la cancellazione del frame selezionato e rappresentato sul monitor pittorico.

Robot

Il comando *Status* attiva una maschera in cui sono riportate le informazioni di stato del robot, fornite dall'unità di controllo S3.

Mediante il pulsante OK si riattiva la maschera del pannello fisso.

Il comando *Speed* consente di selezionare la velocità di traslazione del TCP del robot durante la scansione: viene attivata la maschera *Velocity*, che contiene un cursore mediante il quale si possono scegliere otto velocità nominali prefissate, corrispondenti rispettivamente a 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 e 1m/s.

Mediante il pulsante OK si riattiva la maschera del pannello fisso.

Il comando *Reset* muove il braccio meccanico del robot in modo che la sonda si dispone parallela all'asse x.

Attenzione: prima di dare questo comando assicurarsi che non ci siano ostacoli lungo la traiettoria del braccio meccanico e del tubo portasonda.

Scope

La voce *Reset* è attualmente inattiva

Il comando *Range* consente di determinare gli estremi dell'intervallo di quantizzazione del segnale di eco inviato al calcolatore della stazione dall'oscilloscopio digitale. Viene attivata la maschera *Dynamic Range*, contenente due campi: il valore inserito nel campo *Min* corrisponde al livello di quantizzazione 0, mentre il valore impostato nel campo *Max* corrisponde al livello di quantizzazione 255.

Mediante il pulsante OK si riattiva la maschera del pannello fisso.

Parameters

Mediante il comando *Restore*, nel riquadro *Area* di scansione vengono recuperati i parametri di acquisizione relativi alla mappa contenuta nel frame selezionato.

5.2. Pannello fisso

L'acquisizione di segnali a ultrasuoni viene controllata mediante inserzione o selezione dei seguenti parametri o comandi.

Ispezione

Selezionando l'opzione *Soglia Singola* si ottiene una mappa C-scan dei valori di picco del segnale di eco all'interno della finestra temporale determinata in precedenza sull'oscilloscopio digitale.

Selezionando l'opzione *Onda Completa* si ottiene una rappresentazione B-scan dei segnali di eco nei vari punti di misura.

Superficie

Selezionando l'opzione *Piano* si abilitano i campi x , y , z , Δx , Δy , α , β contenuti nella finestra Area di scansione, che sono necessari per definire la scansione di una superficie piana, orizzontale o inclinata.

Selezionando l'opzione *Cilindro* si abilitano i campi Raggio del cilindro, x , z , Δz necessari per definire la scansione di una superficie cilindrica.

Attenzione: in questo caso si deve montare il cilindro sul TCP e si deve usare la sonda posta su una parete della vasca.

Selezionando l'opzione *Curva* si abilitano i campi Δx e Profilo curva, che consente di caricare il file dei dati per la scansione di un campione con profilo definito da una curva generatrice.

Attenzione: il campione dev'essere alloggiato nella vasca in una posizione prestabilita.

Frame

Con questo comando si seleziona la memoria di quadro su cui rappresentare l'immagine digitale ricavata dalla scansione; si possono rappresentare matrici con al più 512 elementi per riga o per colonna.

Area di scansione

In questo riquadro sono contenuti i campi per la definizione dei parametri x , y , z , Δx , Δy , Δz , α , β , Raggio del cilindro abilitati secondo la selezione di Superficie; il campo γ , che definisce l'angolo di rotazione intorno all'asse x' del sistema di riferimento mobile (asse del tubo portasonda), non è attivato.

Il pulsante *Profilo curva* consente di caricare il file contenente i dati necessari per la scansione di un campione con superficie definita da un profilo

Attenzione: il file deve essere stato costruito seguendo la modalità definita in [8].

Il pulsante *Sotto regione* abilita il mouse del calcolatore in modo che sia possibile definire una ROI su una mappa C-scan precedentemente acquisita e memorizzata su un frame della memoria video.

Passo di scansione

Nel caso di scansione di superfici piane o cilindriche, il numero inserito nel campo corrisponde all'effettivo passo di scansione in mm, eguale nelle direzioni x e y; nel caso di scansione di superfici curve, il valore indica il passo con cui leggere i dati contenuti nel file: in questo caso sono accettati solo dei valori interi.

Scansione

Selezionando l'opzione *Asincrona*, la ROI viene esplorata con la sonda che si muove senza interruzione lungo ogni riga; i dati di lettura sono interpolati (v. cap. 3).

Selezionando l'opzione *Sincrona*, la ROI viene esplorata con la sonda che si arresta momentaneamente in ciascun punto di misura; i dati di lettura non sono interpolati.

In base ai valori di Area e Passo di scansione impostati dall'utente, nei campi N_colonne e N_righe vengono scritti i valori di seguito definiti.

Nel caso di scansione di superfici piane si ha:

$$\begin{aligned} N_{\text{colonne}} &= \frac{\Delta x}{p} \\ N_{\text{righe}} &= \frac{\Delta y}{p} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Nel caso di scansione di superfici cilindriche si ha:

$$\begin{aligned} N_{\text{colonne}} &= \frac{2\pi\text{Raggio}}{p} \\ N_{\text{righe}} &= \frac{\Delta z}{p} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Nel caso di scansione di superfici curve, le indicazioni non sono significative.

Nel campo Passo di visualizzazione viene scritto il valore p_v definito da:

$$p_v = \max \left(\frac{N_{\text{colonne}}}{512}, \frac{N_{\text{righe}}}{512} \right) \quad (5.3)$$

Mediante la selezione del pulsante ACQ, contenuto nel menù principale, il programma attiva la maschera Controllo Acquisizione, costituita da un riquadro e tre pulsanti.

Nel riquadro viene indicata una stima del tempo necessario per la scansione della regione selezionata.

Nel caso di errore o mal funzionamento durante la scansione, nel riquadro viene riportato lo stato del robot, fornito da S3; il controllo ripassa quindi all'interfaccia utente (v. pulsante Stop), in modo da iniziare nuove operazioni mediante il pannello fisso.

Il pulsante Stop arresta le operazioni di scansione e richiama il menù principale. Il pulsante può essere attivato in qualsiasi momento, ma l'effettiva interruzione avviene al termine della riga

di scansione in corso; il pulsante dev'essere attivato successivamente alla segnalazione di errore, in modo da riattivare il pannello fisso.

Il pulsante Pause interrompe la scansione con lo stesso tipo di sincronizzazione del pulsante Stop; la scansione può essere abbandonata mediante il pulsante Stop, oppure riattivata, proseguendo dalle coordinate di arresto, mediante il pulsante Continue.

Al termine della scansione sul display compare il messaggio:

VUOI SALVARE I DATI ACQUISITI?

In caso di risposta affermativa, i dati vengono memorizzati su disco mediante la maschera Save Image, e successivamente viene riattivato il menù principale; questa condizione si verifica immediatamente nel caso di risposta negativa.

In ogni caso se si risponde negativamente i dati possono sempre essere salvati in un secondo momento, utilizzando la voce Save dal menù file.

6. Sessione di lavoro

6.1. Accensione del sistema

Il programma di acquisizione a ultrasuoni può essere avviato quando il robot IRB2000 si trova nello stato di sincronizzazione; per comodità si riportano i passi da eseguire per ottenere questa condizione (v. fig. 6.1).

- Alimentare il sistema mediante l'interruttore generale posto sul fianco destro dell'unità di controllo S3;
- attendere il completamento del ciclo di autodiagnosi (accensione della spia 7 sul pannello di comando di S3);
- premere il pulsante 8 per il ripristino del sistema (spegnimento della spia 8);
- premere il pulsante 2, per togliere il sistema dalla condizione di STAND-BY (accensione della spia 2 e lampeggio della spia 3);
- premere il pulsante 3 per sincronizzare il braccio meccanico (spegnimento della spia 3).

Attenzione: passando dalla condizione di STAND-BY a quella di sincronizzazione, il braccio meccanico si muove per raggiungere la posizione di RESET: è opportuno assicurarsi in precedenza che non ci siano ostacoli sulla traiettoria, oppure spostare il braccio mediante il joy-stick della tastiera di S3: questa operazione dev'essere compiuta dopo aver premuto il pulsante 2 e prima di premere il pulsante 3.

Il programma di acquisizione viene richiamato digitando sulla tastiera del calcolatore il codice AUS.

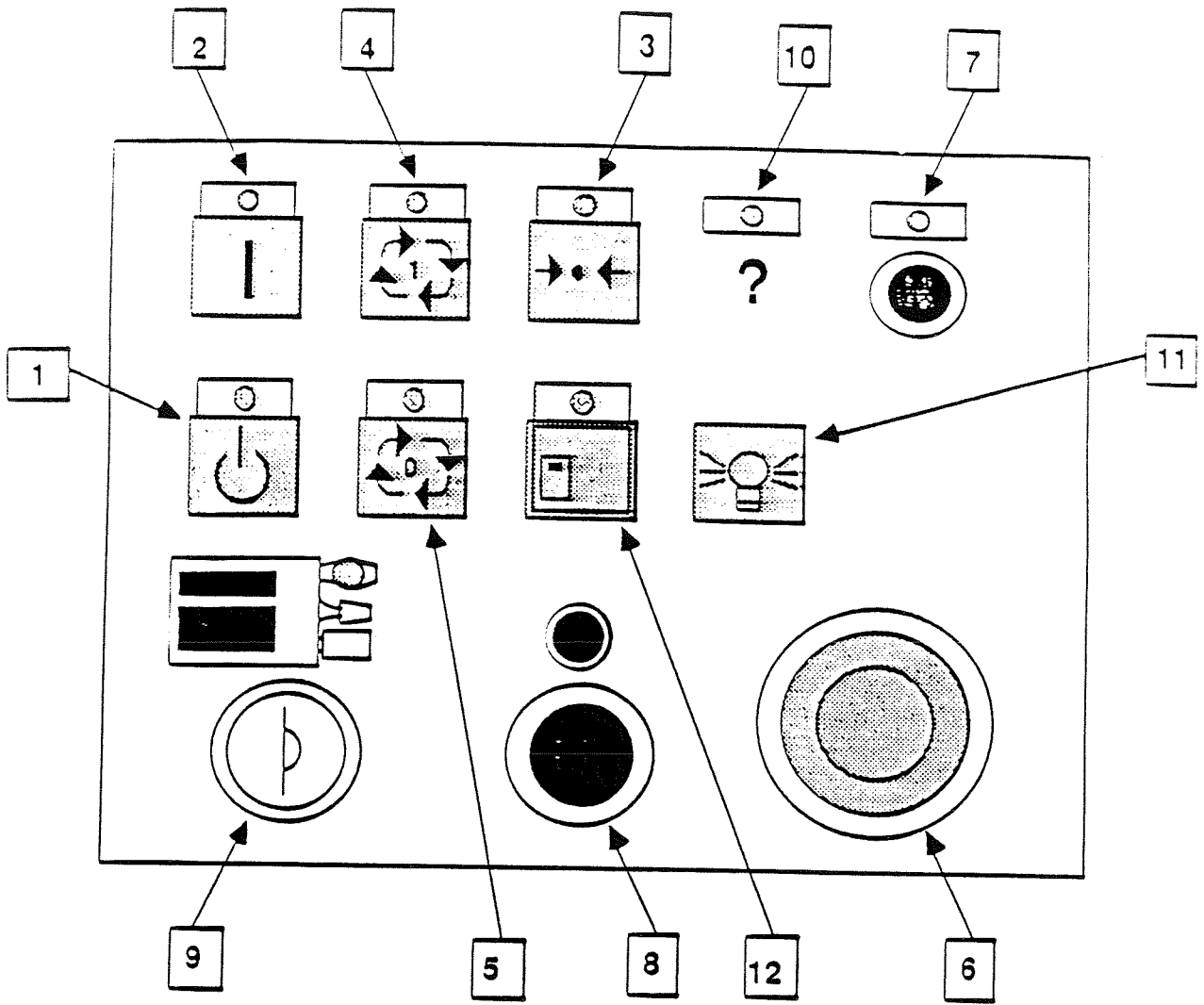


Fig. 6.1: Pannello dell'unità di controllo S3.

6.2. Scansione di una superficie piana

Le operazioni di scansione sono controllate dai parametri contenuti nei vari campi: l'inserimento di un valore in un campo diventa effettivo solo dopo aver premuto il tasto ritorno carrello (ENTER), oppure quando si inizia la modifica di un secondo campo

Lo spostamento del cursore rettangolare all'interno dell'area di lavoro nel diagramma della vasca può avvenire nei seguenti modi.

Mediante mouse, il cursore rettangolare si sposta in corrispondenza del cursore a freccia ad ogni click del pulsante di sinistra; il cursore può essere spostato separatamente nelle direzioni x o y mediante scorrimento dei cursori verdi sugli assi del diagramma della vasca.

Mediante tastiera, se il cursore freccia si trova all'interno della vasca il cursore rettangolare può essere spostato di passi fissi nelle direzioni x o y; usando i tasti FRECCIA si hanno traslazioni di 41 mm, mentre usando i tasti FRECCIA e SHIFT si hanno traslazioni di 4 mm.

Le dimensioni del cursore rettangolare vengono modificate in base ai valori inseriti nei campi Δx e Δy . Se il cursore viene spostato sul margine destro o su quelli inferiore dell'area di lavoro interna della vasca, le dimensioni del cursore vengono ridotte in modo che le coordinate finali di scansione rientrino nei limiti prefissati; la modifica delle dimensioni permane anche se si riporta indietro il cursore.

Individuazione dell'origine dell'area di scansione

Quando il braccio è nella posizione di Reset, i campi x, y, z contengono i seguenti valori di default:

x = 250
y = 600
z = 1100

che non corrispondono all'effettiva posizione attuale dell'estremità della sonda.

Attenzione: il primo inserimento di un valore in uno dei campi x, y, z, oppure lo spostamento iniziale del cursore sul diagramma della vasca, provocano il passaggio della sonda dalla posizione orizzontale a una posizione verticale, con coordinata z=1100. Assicurarsi che non ci siano ostacoli sulla traiettoria.

Se il punto d'inizio scansione non è noto a priori, si devono inserire più volte i valori nei campi x e y, oppure si deve spostare il cursore rettangolare fino al raggiungimento della posizione voluta; nei campi x,y,z sono indicate le coordinate attuali del TCP.

Regolazione delle dimensioni dell'area di scansione

Le dimensioni della ROI sono determinate dai valori inseriti nei campi Δx e Δz .

Determinazione del passo di scansione

Il passo di scansione, eguale nelle direzioni x e y, è determinato dal valore inserito nel campo Passo di scansione.

Selezione della velocità di scansione

La velocità di scansione può essere scelta fra otto possibili valori mediante il menù Robot, comando Speed; per default è impostata la minima velocità di traslazione del TCP (0.1 m/s): è consigliabile l'uso di basse velocità di traslazione, che consentono di arrestare i movimenti del braccio meccanico mediante il pulsante STOP di emergenza sul pannello di S3 in caso di inconvenienti.

Selezione della memoria video

Mediante il cursore Frame si seleziona la memoria di quadro su cui verrà rappresentata la mappa dei dati ricavati durante la scansione: per default è selezionato il frame 0.

Determinazione della dinamica di quantizzazione

Gli estremi dell'intervallo di quantizzazione del segnale di eco sono specificati tramite il menù Scope, comando Range. Una scelta errata degli estremi comporta perdita di informazioni nella conversione analogico/digitale del segnale: è opportuno ricavare una stima delle ampiezze e delle variazioni del segnale riflesso in alcuni punti del campione prima di iniziare la scansione.

L'attivazione del pulsante ACQ provoca l'inizio della scansione secondo le modalità selezionate e coi parametri definiti nei vari campi. Durante la scansione è opportuno non spostare il cursore del mouse e premere eventualmente una sola volta i pulsanti Stop e Pause sulla maschera di acquisizione; si ricorda che l'effetto della pressione di tali pulsanti si nota solo al termine della riga corrente. Alla fine della scansione si può eseguire un salvataggio dei dati, procedere a una nuova acquisizione o uscire dal programma.

Riferimenti

- 1) L. Azzarelli, E. Bozzi, M. Chimenti: "Progetto e sviluppo di una struttura per il CND a ultrasuoni". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-64, 1990
- 2) L. Azzarelli, E. Bozzi, M. Chimenti: "Valutazioni sperimentali del prototipo di stazione per il CND a ultrasuoni e studio di fattibilità per versioni ottimizzate". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-23, 1991
- 3) E. Bozzi, M. Chimenti: "Progetto Software: Programmi di scansione e acquisizione US". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-26, 1992
- 4) E. Bozzi, M. Chimenti: "Pacchetto software per l'ispezione a soglia singola e onda completa mediante stazione US". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-12, 1993
- 5) E. Bozzi, E. Fantini, A. Marchetti, A. Ribolini: "Progetto software del pacchetto per l'ispezione US". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-13, 1993
- 6) E. Bozzi, M. Chimenti, L. Azzarelli: "Ispezione a soglia singola mediante prototipo di stazione US". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-17, 1992
- 7) E. Bozzi, M. Chimenti: "Scansione a ultrasuoni di campioni poliedrici". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-10, 1993

- 8) E. Bozzi, M. Chimenti, L. Azzarelli: "Sviluppo di procedure per la scansione a ultrasuoni di superfici curve mediante robot a sei assi". Collaborazione Scientifica IEI-Alenia, Nota Interna B4-38, 1992

- 9) ABB ROBOTICS: "Programming Manual Robot Control System S3 - 6397013-121". 1990