



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Nota Interna

ST. PL. INF.
BIBLIOTECA

per Archivio

Sistemi per CND CGS2, ETIS, THERMO
Collaborazione IEI- Alenia Contratto P97511
Relazione finale

*Luciano Azzarelli, Edoardo Bozzi, Renzo Bozzi,
Massimo Chimenti, Salvatore Minutoli*

B4-01
gen-1999

I.E.I.
ISTITUTO DI
ELABORAZIONE DELLA
INFORMAZIONE

Collaborazione IEI- Alenia

Contratto P975111

Sistemi per CND CGS2, ETIS, THERMO

Relazione finale

*Luciano Azzarelli, Edoardo Bozzi, Renzo Bozzi,
Massimo Chimenti, Salvatore Minutoli,*

Istituto di Elaborazione della Informazione - CNR, Pisa

La presente relazione riporta l'attività svolta presso l'IEI nell'ambito del contratto P975111N del 27/11/97.

Il tema del suddetto contratto consiste nel ripristino e nello sviluppo di sistemi per il controllo non distruttivo, realizzati in una precedente collaborazione tra IEI e Alenia ed operanti presso i laboratori CND di Pomigliano d'Arco.

In particolare, la relazione riporta le attività svolte per il completamento delle seguenti fasi, citate nel contratto in oggetto:

- Fase 1 – Sistema Ultrasuoni CGS2: verifica condizioni funzionali robot
- Fase 2 – Sistema Ultrasuoni CGS2: verifica funzionamento sistema
- Fase 3 – Sistema Ultrasuoni ETIS: studio di fattibilità.
- Fase 4 – Sistema Termografia THERMO: verifica funzionamento sistema.

Nella descrizione dell'attività si fa riferimento alle specifiche indicate nel rapporto NT 56X97002, allegato alla commessa d'ordine emessa da Alenia, e alla pianificazione concordata tra IEI ad Alenia nella riunione tenutasi a Pisa i giorni 22-23 /01/98.

Indice

Sistema CGS2	5
Verifica dei componenti hardware del sistema.....	7
Aggiornamento dei componenti software	8
Interfaccia utente	9
Funzionalità del sistema	15
Ispezione di campioni piani	15
Ispezione di campioni a geometria variabile.....	15
Acquisizione a soglia singola e dell'onda completa in pulse-echo.....	16
Archiviazione delle immagini e dei file volumetrici	16
Rappresentazione di immagini e grafici sotto forma A-scan, B-scan e C-scan.....	16
Connessione a sistemi di rendering per la visualizzazione di file volumetrici.....	16
Esecuzione di nuove funzionalità elaborative	16
Convertibilità del formato immagini	16
Studio di fattibilità per lo sviluppo del sistema di ispezione	17
Prodotti ABB.....	17
Prodotti Lecroy.....	21
Sistema ETIS	26
Architettura del sistema.....	26
Motori passo-passo.....	27
Modifiche al progetto meccanico del carrello di scansione	28
Sviluppo software.....	29
Convertitore analogico-digitale	30
Generatore a ultrasuoni	30
Oscilloscopio digitale	30
Rappresentazione delle mappe	31
Interfaccia utente	31
Funzionalità del sistema	32
Aggiornamento del banco di scansione xy mediante motori passo-passo	32
Aggiornamento dell'acquisizione ultrasonora.....	32
Ridisegno e sviluppo del software di sistema.....	32
Convertibilità delle immagini tra diversi formati standard	32
Sistema THERMO	34
Piattaforma elaborativa.....	34
Dispositivo di acquisizione	34
Sviluppo software.....	35
Funzionalità del sistema	35
Acquisizione di immagini termografiche mediante termocamera con standard CCIR.....	35
Acquisizione in tempo reale con dinamica di 10 bit e sincronizzazione esterna.....	35
Funzionalità di editing sui termogrammi	35
Archiviazione delle immagini	35
Integrabilità delle funzioni del sistema Inspector.....	35
Convertibilità delle immagini tra diversi formati standard	35
Appendice	37
Programma di conversione immagini PIP→Tiff e Tiff→Pip	37
Programma di conversione immagini ITEX_100 → BIS386	37
Disegni meccanici per la modifica del sistema ETIS	38
Riferimenti.....	51

Sistema CGS2

Il sistema CGS2 è stato realizzato per l'ispezione mediante ultrasuoni di componenti aeronautici aventi geometrie di tipo complesso.

Nella stazione di lavoro già operante presso i laboratori CND di Pomigliano, il componente, immerso in una vasca colma d'acqua, viene esplorato mediante una sonda applicata al polso di un braccio robotizzato a sei assi, i cui movimenti sono attivati da un'unità di controllo; le operazioni di spostamento della sonda, emissione di impulsi a ultrasuoni e misura del segnale riflesso sono eseguite da differenti apparecchiature, controllate da un programma principale residente su un calcolatore. La figura 1 riporta schematicamente i componenti del sistema e le loro connessioni.

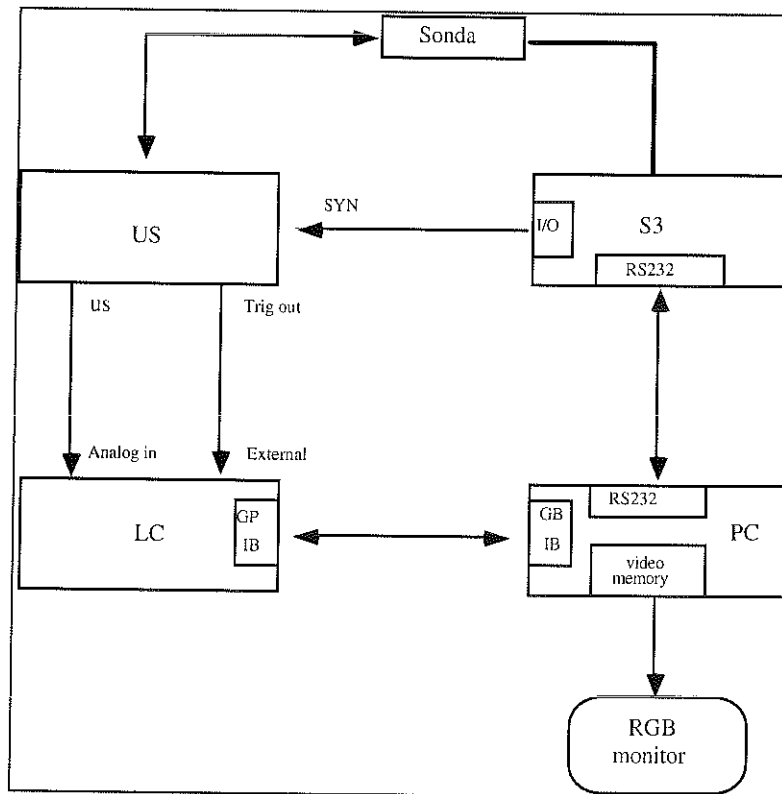


Figura 1. Schema a blocchi del sistema CGS2.

Il sistema CGS2 opera in nel modo descritto di seguito. Nota la forma del campione da esaminare, si determina un reticolo di punti di misura, disposti normalmente su righe di scansione parallele, e si definiscono il passo di avanzamento all'interno della riga e la distanza tra le righe.

Un programma per la scansione di riga, residente sull'unità di controllo del robot (S3), muove il braccio del robot mantenendo la sonda perpendicolare alla superficie del campione: ogni volta che la sonda raggiunge una posizione di misura, l'unità di controllo invia al calcolatore (PC) un impulso, attraverso la porta di comunicazione seriale RS232; contemporaneamente, l'unità di controllo invia un impulso (SYN) al generatore di segnali (US) attraverso una porta di uscita digitale (I/O).

Il generatore US produce un segnale impulsivo applicato alla sonda e invia all'oscilloscopio (LC) un impulso di sincronismo (Trig out); in base a questo segnale, e con un ritardo definito in precedenza, l'oscilloscopio campiona il segnale di eco ultrasonoro rivelato dalla sonda (us),

all'interno di un intervallo temporale prefissato, immagazzina i dati di campionamento nella propria memoria tampone e provvede, nel caso di scansione a soglia singola, a calcolare il valore di picco del segnale acquisito; l'oscilloscopio segnala la fine delle operazioni attivando un bit nel registro di stato.

Il programma residente sul PC, allertato dal precedente segnale inviato dall'unità di controllo attraverso la porta di comunicazione seriale, individua l'avvenuta cattura ed eventuale elaborazione di dati mediante una lettura del registro di stato dell'oscilloscopio attraverso la porta di comunicazione parallela (GPIB); il programma provvede quindi a trasferire nella memoria del calcolatore il risultato della misura fatta in corrispondenza del punto di misura.

Questo ciclo di operazioni viene ripetuto per tutti i punti di misura appartenenti ad una riga di scansione; al termine della riga, il programma principale rappresenta sul monitor pittorico (RGB) i dati acquisiti e invia all'unità di controllo S3 i parametri necessari per attivare la scansione della riga successiva.

Le descrizioni del progetto delle componenti software e del funzionamento della stazione sono riportate nei lavori elencati nel paragrafo Riferimenti.

Il sistema a suo tempo installato presso i laboratori CND di Pomigliano era costituito da:

- Braccio robotizzato ABB IRB2000
- Unità di controllo ABB S3
- Vasca per l'immersione dei campioni
- Generatore di ultrasuoni Karl Deutsch Echograph 1030
- Oscilloscopio digitale LeCroy 9450
- Calcolatore PC 386, con scheda di acquisizione Matrox PIP-1024

La componente software del sistema di ispezione appositamente realizzato comprendeva:

- Programmi per la scansione di riga, residenti in S3
- Moduli per il controllo di scansioni elementari, residenti sul PC
- Procedura generale di acquisizione, residente sul PC.

Al momento del trasferimento presso l'IEI e dopo l'esecuzione di alcune indagini si sono rilevate le seguenti disfunzioni di vari componenti del sistema di ispezione:

- il calcolatore di controllo del sistema era guasto e mancante di alcuni componenti e conseguentemente inutilizzabile e irrecuperabile; non è stato quindi possibile eseguire e provare i programmi di acquisizione di segnali;
- i programmi di scansione residenti sull'unità di controllo S3 erano stati cancellati, e non si potevano eseguire neppure i movimenti di scansione di riga, controllati localmente.
- si verificavano errori nella trasmissione dei dati, sia attraverso l'interfaccia di collegamento fra l'oscilloscopio digitale e il calcolatore, sia attraverso l'interfaccia fra il calcolatore e l'unità di controllo S3.
- il braccio robotizzato presentava alcuni guasti elettromeccanici e non era più controllabile nemmeno manualmente.
- il connettore di collegamento del braccio robotizzato al controllo S3 era danneggiato e non consentiva il corretto trasferimenti dei segnali di attuazione del movimento.
- due dei tre generatori US inviati da Alenia risultavano inefficienti.
- mancavano i programmi sorgente dei moduli e delle procedure di ispezione

Prima di esaminare le concrete possibilità di sviluppo per l'eventuale aggiornamento delle funzionalità e per il miglioramento delle prestazioni generali del sistema CGS2, è stato quindi necessario eseguire numerose interventi di ripristino del funzionamento iniziale: si sono individuati i guasti e si sono modificate alcune parti del sistema per renderlo più efficiente e affidabile, ricorrendo anche alla consulenza tecnica dell'ABB.

Verifica dei componenti hardware del sistema

I singoli componenti del sistema sono stati provati sia separatamente, sia in connessione con gli altri elementi, impiegando inizialmente una piattaforma elaborativa dello stesso tipo di quella guasta, al fine di non modificare in modo incontrollato le condizioni operative iniziali del sistema.

Nel frattempo tenendo presente che le piattaforme 386 non sono più disponibili sul mercato, si è esaminata e sperimentata la possibilità di sostituire l'unità centrale di calcolo con una più recente, questo anche al fine di consentire l'utilizzo di software di sistema più efficienti ed aperti a nuovi sviluppi.

Piattaforma elaborativa

Il calcolatore impiegato in origine nel sistema CGS2 non soddisfaceva i requisiti concernenti il miglioramento delle prestazioni (vedi punto 4.2.1.2 del rapporto NT 56X97002): anziché provvedere alla sua riparazione è risultato quindi più conveniente orientarsi alla scelta di un calcolatore più aggiornato e con maggiore potenza di calcolo.

La nuova piattaforma elaborativa del sistema è costituita da una calcolatore di tipo personal, con la seguente configurazione base:

- Scheda madre ASUS TX97-E, chip Intel TX
- CPU Pentium 200 MHz MMX
- Memoria 128 MB DIMM
- Scheda video MATROX MILLENIUM 2, 4 MB
- Disco di sistema 4.3 GB
- Sistema Operativo Microsoft Windows

Si è recuperato dal disco rigido del PC 386 il software per l'ispezione ad ultrasuoni installatovi in precedenza, ne è stata verificata l'efficienza e sono stati riscritti i moduli mancanti o che non funzionavano più correttamente; è stata sostituita l'interfaccia IEE 488 che risultava non funzionante.

Dispositivo di scansione

In base alle istruzioni fornite dalla casa costruttrice sono stati inizialmente reinseriti i parametri di controllo necessari per abilitare il funzionamento del robot; il braccio IRB2000 è stato quindi riparato e rimesso in funzione mediante comandi manuali applicati tramite la tastiera di comando dell'unità di controllo S3. In seguito è stata messa in posizione la vasca per l'alloggiamento dei provini, e si è verificato che le posizioni assunte dalla sonda per coprire tutta la vasca fossero comprese all'interno dello spazio di manovra del robot.

Al termine di queste operazioni si è provveduto a ricaricare nella memoria di controllo i programmi di movimentazione elementari per attivare lo spostamento della sonda lungo una linea di scansione. Il robot è stato quindi messo in movimento in modo controllato da programma, ripetendo i cicli di funzionamento per durate complessive di diverse ore. In questo modo si sono controllate le prestazioni ottenibili in condizioni operative, e si è verificato che la precisione, la ripetibilità, l'affidabilità e la velocità degli spostamenti risultassero in accordo sia con le specifiche fornite dalla casa, sia con le verifiche sperimentali

eseguite durante le precedenti messe a punto del sistema e descritte negli specifici manuali utente a suo tempo consegnati alla ALENIA.

Generatore di ultrasuoni

Nella versione precedente del sistema CGS2, la sonda a ultrasuoni era pilotata da un generatore Karl Deutsch Echograph 1030 e non da un generatore Panametrics, come erroneamente indicato nel verbale della riunione del 22-23 /01/98 e nella descrizione del sistema a suo tempo fornita ad Alenia. Al fine di ripristinare, se possibile, la precedente configurazione, è stato richiesto all'Alenia l'invio dello strumento Echograph 1030, che non era compreso nel primo lotto di materiale spedito: una volta ricevutolo, si è però constatato che lo strumento non funzionava in condizioni di sincronismo esterno, e si è quindi utilizzato un diverso generatore.

In base agli accordi intervenuti, si è fatto uso di un generatore Panametrics 5052UA dopo averne verificato il funzionamento ed apportate alcune modifiche funzionali.

Connessione S3-5052UA

Per essere attivato mediante sincronizzazione esterna, il generatore 5052UA richiede un pilotaggio differente da quello necessario per il generatore Echograph 1030: si è provveduto quindi a realizzare un'opportuna interfaccia di collegamento tra la porta d'uscita dell'unità di controllo S3 e l'ingresso sync del generatore. Quest'interfaccia produce un impulso di 10 μ s con ampiezza di 3.5V, in modo che la temporizzazione complessiva del sistema è risultata eguale a quella prevista inizialmente per i programmi di scansione che facevano uso del generatore Echograph 1030; l'interfaccia è stata alloggiata all'interno dell'unità di controllo S3.

Aggiornamento dei componenti software

Dopo che sono stati messi a punto i componenti hardware del sistema, è stata iniziata un'ispezione di una serie di provini. A questo scopo sono stati usati sia le librerie di programmi primitivi del pacchetto ROBOT, che consentono l'esecuzione di scansioni in base a parametri forniti manualmente dall'operatore, sia la procedura di ispezione AUS: quest'ultima fa uso di un'interfaccia grafica e provvede in particolare a controllare se le posizioni assunte dalla sonda in base ai parametri inseriti rientrano nello spazio utile, determinato sia dall'area di lavoro del robot, sia dalle dimensioni della vasca a immersione.

Nella versione precedente questo software operava in ambiente DOS; al fine di soddisfare le richieste espresse nel paragrafo 4.2.1.2 del rapporto NT 56X97002, si è analizzata la possibilità di attivare le procedure elaborative in un contesto operativo più attuale, e di modificare il software già realizzato inserendo eventualmente nel sistema nuovi programmi e pacchetti applicativi.

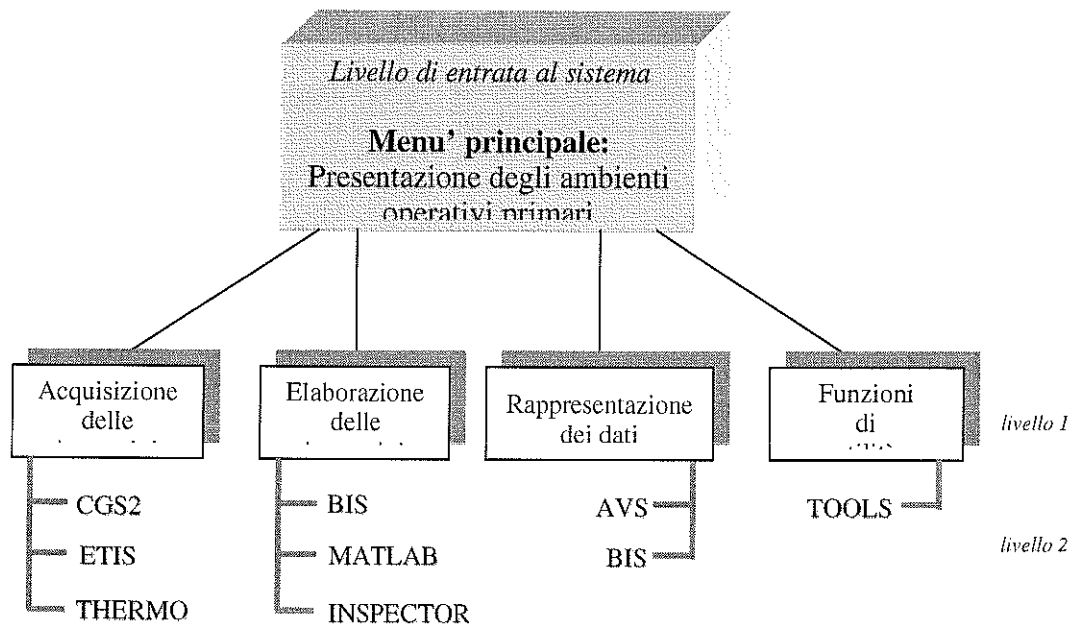
A seguito di una indagine svolta presso le società fornitrici dei vari componenti della struttura di indagine (ABB, LeCroy, MATROX, PANAMETRICS, PC Lab-Card) è stato accertato che per i componenti impiegati non sono disponibili primitive e librerie in grado di consentire una nuova edizione del sistema software in ambiente Windows, in particolare per l'ambiente di sviluppo e gestione ABB ARLA del braccio robotizzato e della scheda di acquisizione MATROX PIP 1024 che costituisce una parte integrante e fondamentale del sistema; conseguentemente il sistema operativo del calcolatore ove risiede il software deve rimanere quello originale DOS. In linea di principio, le librerie necessarie al sistema software potrebbero essere appositamente progettate e successivamente sviluppate per l'ambiente Windows; tuttavia si ritiene che questa attività non sia conveniente né per i costi né per i tempi che tale operazione richiederebbe. Inoltre, questa soluzione rimarrebbe di tipo proprietario, e quindi poco efficiente e affidabile per i successivi aggiornamenti e sviluppi, e

soprattutto le specifiche esigenze di tempo reale che caratterizzano l'applicazione, rigidamente sincrona nelle sue diverse fasi elaborative, verrebbero seriamente compromesse. Al fine di emulare, nel nuovo ambiente Windows 95 di cui è stata dotata la stazione di lavoro, le funzionalità del sistema in modo trasparente, i vari programmi di scansione, elaborazione, archiviazione e di conversione dei formati dei file vengono attivati utilizzando una apposita interfaccia ad alto livello.

Interfaccia utente

A questo fine è stata realizzata un'interfaccia utente in ambiente Windows sviluppata in C++ mediante la libreria MFC; questa interfaccia permette di richiamare in modo semplice e diretto gli ambienti per l'esecuzione delle operazioni previste per il CND, sia mediante ispezione ad ultrasuoni (sistemi CGS2 e ETIS), sia mediante riprese video-termografiche (sistema THERMO). Si può usare una singola piattaforma di calcolo tanto per il controllo delle diverse apparecchiature impiegate dai vari sistemi, quanto per l'elaborazione dei file ottenuti coi differenti metodi di ispezione, oppure si possono impiegare più calcolatori connessi mediante una rete locale per lo scambio di dati: in questo caso, l'interfaccia di controllo può essere installata su ciascun calcolatore.

Allo stato attuale, l'interfaccia è costituita da schermate con organizzazione di tipo gerarchico (vedi figura 2).



Al primo livello si possono selezionare mediante pulsanti i seguenti quattro ambienti principali

- Acquisizione
- Elaborazione
- Rappresentazione
- Funzioni di utilità

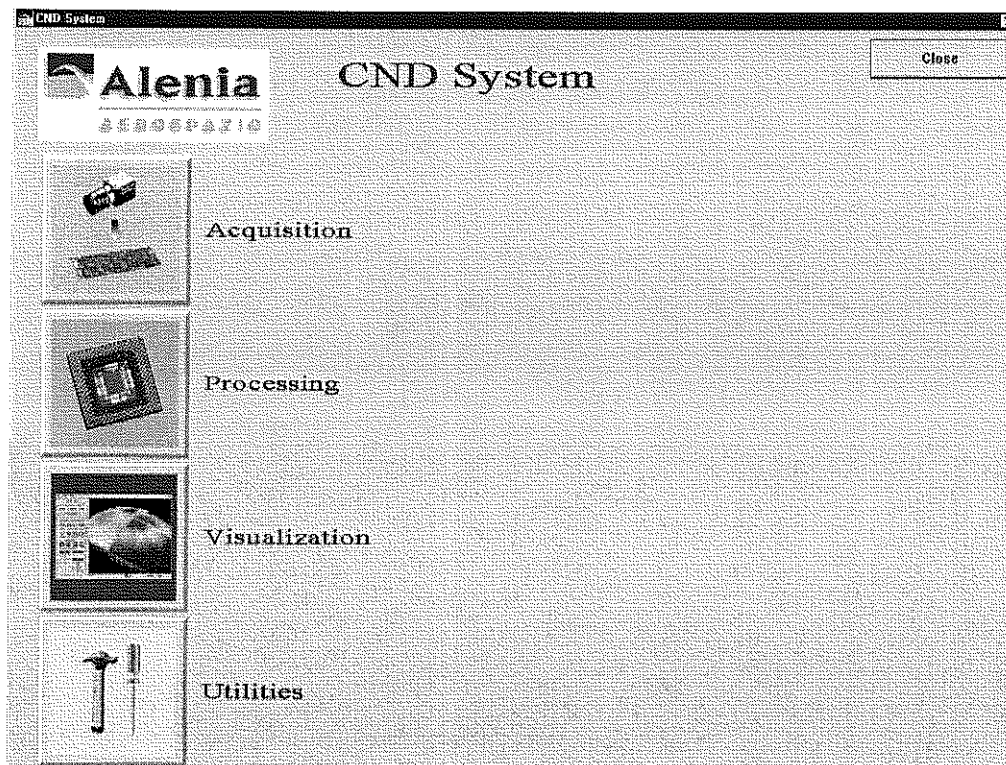


Figura 2. Interfaccia di controllo.

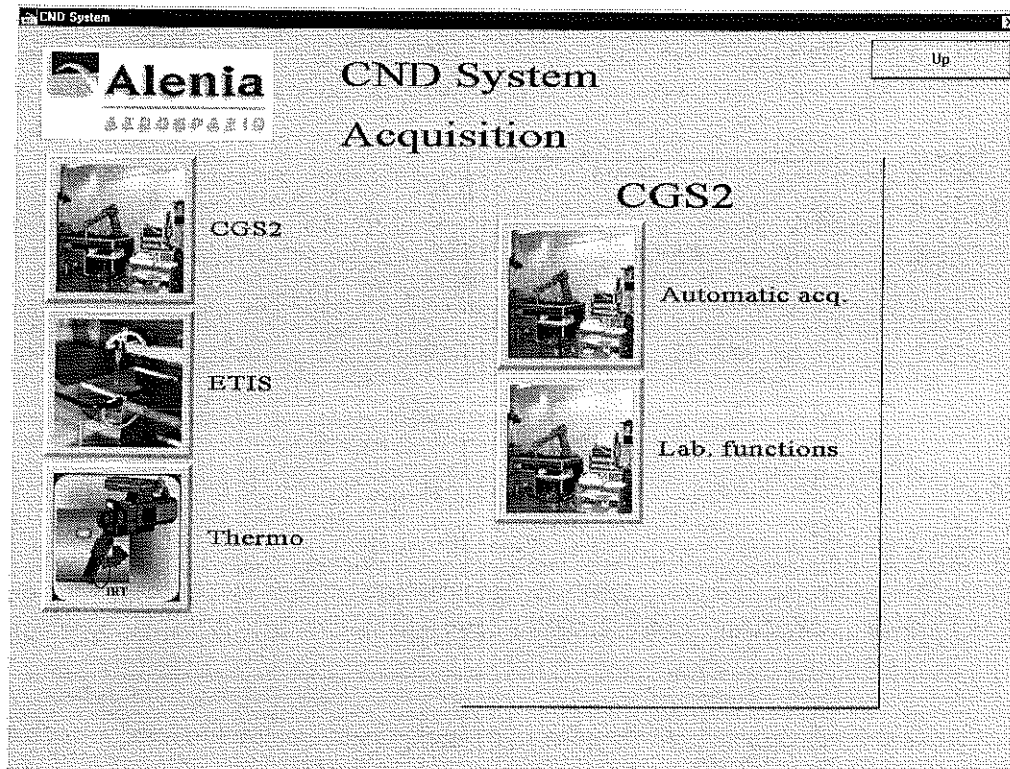


Figura 3. Interfaccia di controllo; ambiente di acquisizione CGS2.

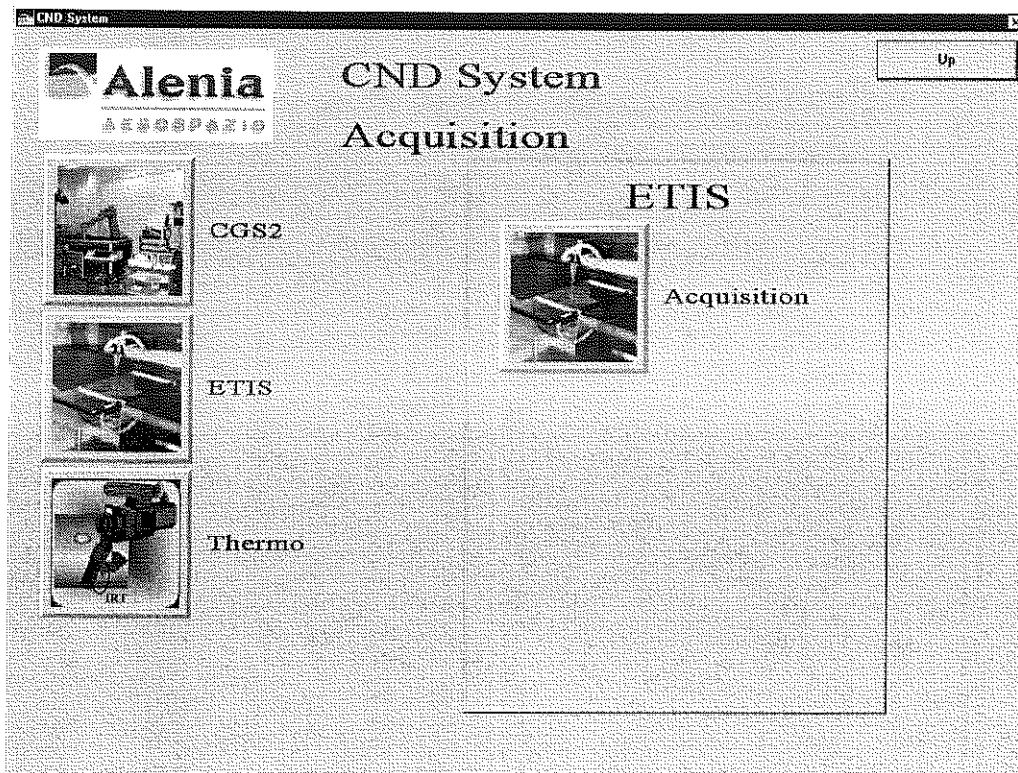


Figura 4 Interfaccia di controllo; ambiente di acquisizione ETIS

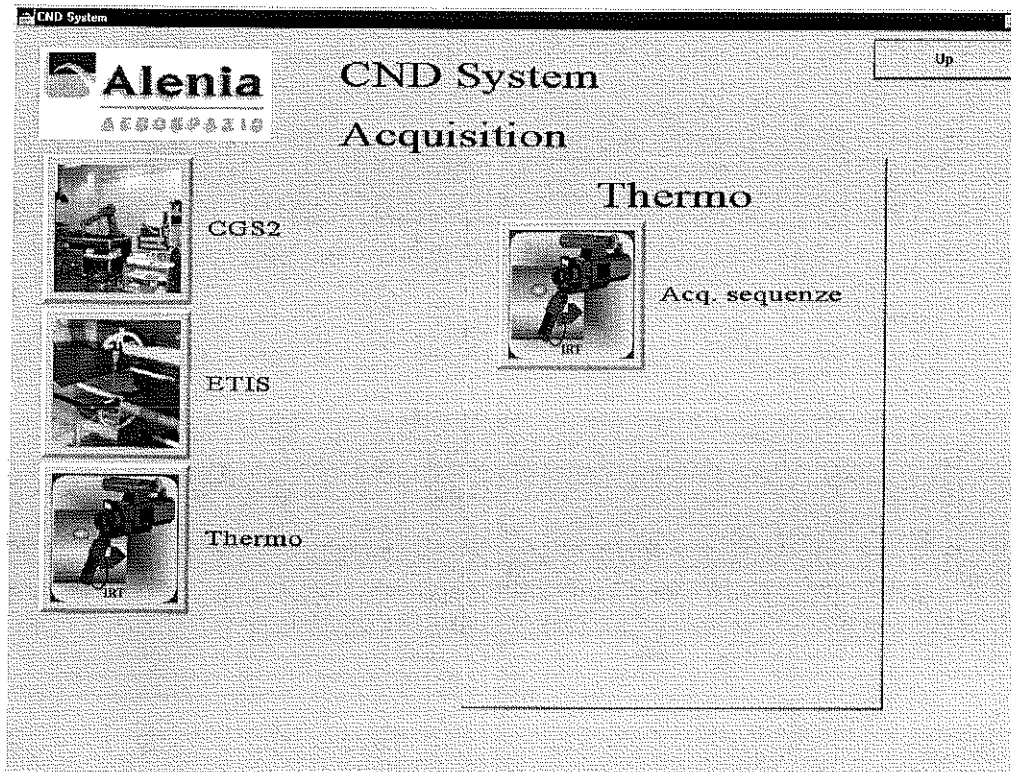


Figura 5. Interfaccia di controllo; ambiente di acquisizione THERMO.

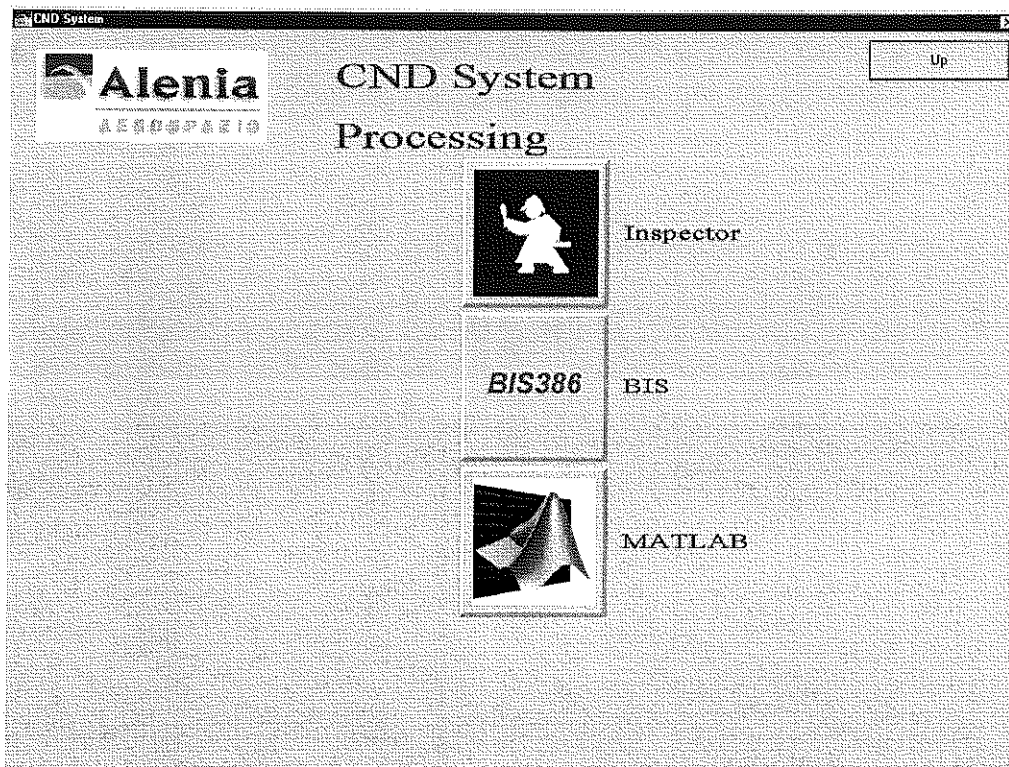


Figura 6. Interfaccia di controllo; ambiente di elaborazione.

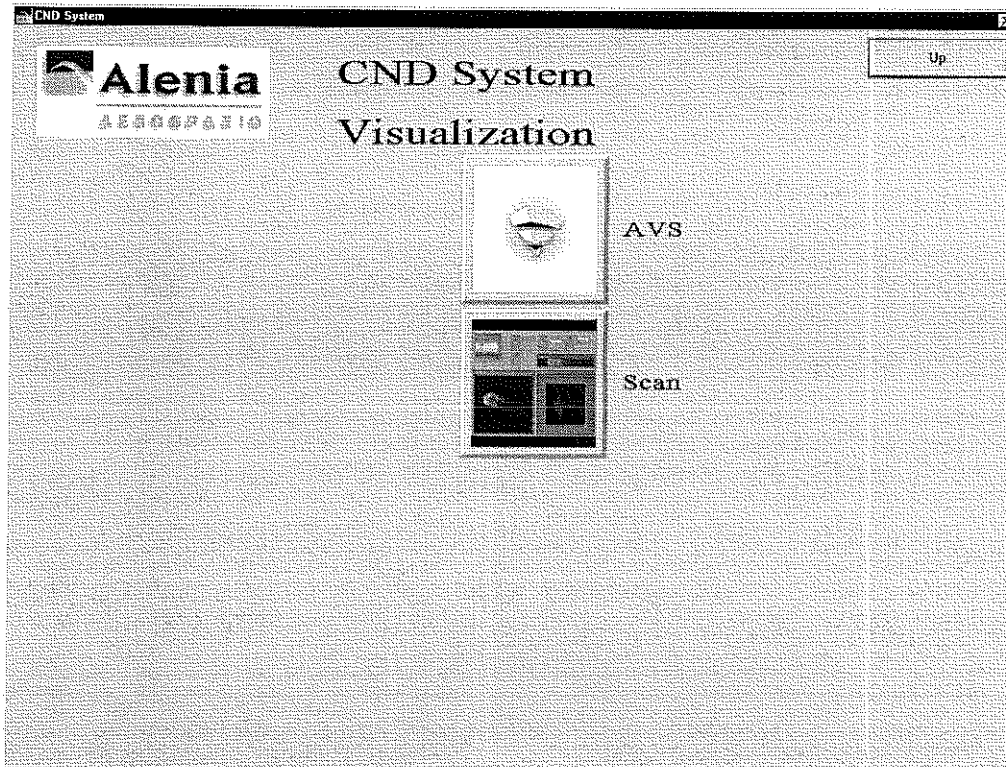


Figura 7. Interfaccia di controllo; ambiente di visualizzazione.

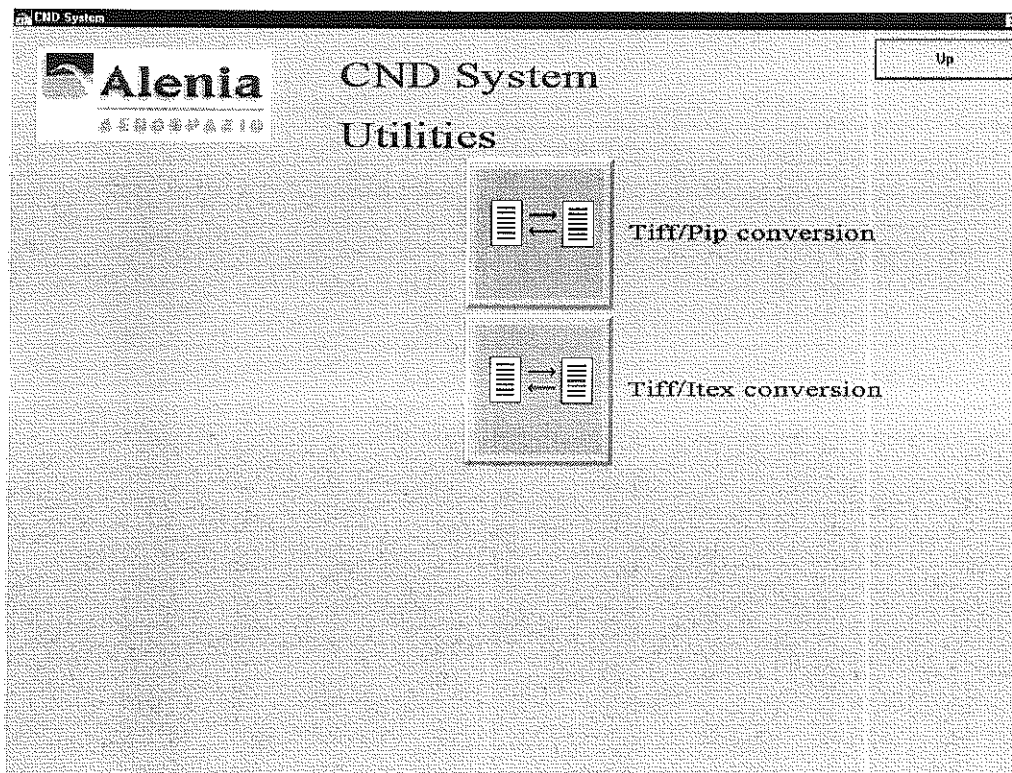


Figura 8. Interfaccia di controllo; ambiente di utilità.

All'interno di ciascuno dei tre ambienti principali, ulteriori pulsanti e finestre di colloquio consentono di accedere ad altri sotto-ambienti, oppure di attivare dei programmi applicativi.

Ambiente di acquisizione

Questo ambiente è preposto alla acquisizione di segnali e immagini ed è articolato nei seguenti sotto ambienti funzionali:

CGS2, ambiente per l'ispezione ad ultrasuoni mediante il sistema CGS2: si possono attivare i moduli del pacchetto da laboratorio ROBOT oppure la procedura AUS

ETIS, ambiente per l'ispezione a ultrasuoni mediante il sistema ETIS: attualmente si può attivare il programma per il controllo di un sistema a due assi, descritto nel paragrafo contenente l'attività relativa al sistema ETIS

THERMO, ambiente per l'acquisizione di serie temporali di immagini finalizzate all'ispezione termografica: al termine della fase 4 dell'attività prevista dal contratto sarà possibile attivare un programma per l'acquisizione sincrona di sequenze di immagini prodotte da una termocamera operante con lo standard CCIR.

I programmi inseriti nei sotto-ambienti producono dati di misura organizzati in file con differenti formati: i file relativi a mappe ad ultrasuoni di tipo B e C-scan, costruiti mediante previa rappresentazione sulla scheda video Matrox PIP-1024, hanno un formato di tipo PIP; i file ottenuti con ispezione a ultrasuoni a onda completa hanno un formato di tipo PIP; i file prodotti da un'ispezione termografica hanno un formato di tipo TIFF. I file vengono inseriti in archivi differenziati in funzione del loro formato.

Ambiente di Elaborazione

I file prodotti nella fase di acquisizione possono essere richiamati ed elaborati mediante differenti pacchetti software, alcuni forniti direttamente dall'IEI nella precedente attività ed altri suggeriti per le peculiari caratteristiche e standard elaborativi che li rendono particolarmente utili per le applicazioni CND previste nelle attuali attività della collaborazione IEI-Alenia.

BIS. Questo pacchetto, che faceva parte del sistema CGS2, è stato aggiornato rispetto alla versione precedente già fornita ad Alenia per consentire di attivare moduli che eseguono trasformazioni di tipo fotometrico, geometrico o analitico sui dati contenuti in file di immagini organizzati col formato PIP; i moduli sono raggruppati in sotto-ambienti di acquisizione, pre-elaborazione e analisi e sono attivabili mediante una opportuna interfaccia locale operante in ambiente Windows.

Inspector. L'aggiunta di questo pacchetto consente l'esecuzione delle seguenti operazioni principali: acquisizione di immagini singole o di sequenze non contigue di immagini, definite da segnali video con differenti formati; elaborazione di immagini, mediante operatori di tipo locale o globale; analisi di immagini, mediante procedure specializzate (ad esempio Blob Analysis o Pattern Matching), analisi statistiche.

MATLAB. L'aggiunta di questo pacchetto consente di richiamare dei moduli applicativi predefiniti, di costruirne dei nuovi e di realizzare procedure costituite da sequenze organizzate di moduli. In particolare, questo pacchetto consente l'utilizzo di strumenti per l'analisi di segnali mono o bidimensionali, come algoritmi di curve fitting, trasformata di Fourier, tecniche Wavelet; si possono inoltre progettare e simulare reti neurali impiegabili per l'analisi strutturale e il rilevamento di difetti nelle applicazioni CND.

A richiesta, l'interfaccia può essere aggiornata per agganciare il sistema software LAB View se di interesse specifico di Alenia.

I diversi pacchetti sopra citati possono trattare file con differenti formati, mediante l'impiego di moduli appositamente realizzati per la conversione di formato. In particolare, viene fornito il modulo di conversione dati PIP-TIFF e viceversa: il formato TIFF è infatti accettato da tutti i sistemi software standard e può costituire, come prima soluzione, il modulo di conversione base per la conversione negli altri standard da svilupparsi in un secondo tempo.

Ambiente di rappresentazione

La rappresentazione dei dati acquisiti o elaborati (segnali A, B o C-scan, dati volumetrici o mappe termografiche), può essere ottenuta oltre che mediante i pacchetti software sopra indicati, anche tramite l'utilizzo del sistema AVS/Express di cui l'Alenia è dotata. Questo sistema contiene un insieme di moduli per l'elaborazione dei dati o per la rappresentazione scientifica di tipo 2D e 3D e permette sia di definire dei nuovi moduli, mediante programmazione in linguaggio C, sia di costruire delle applicazioni specializzate, concatenando i moduli a disposizione mediante una programmazione di tipo visuale.

Nell'ambiente di rappresentazione saranno inoltre richiamabili anche degli applicativi per il trattamento di dati volumetrici ottenuti mediante ispezione a ultrasuoni, già realizzati mediante il software AVS rel. 4/5, previa riscrittura degli applicativi stessi a causa della incompatibilità esistente fra AVS/Express e AVS 4/5.

L'interfaccia di controllo opera in ambiente Windows, così come i pacchetti richiamati nei sotto-ambienti di elaborazione e rappresentazione, mentre i programmi per l'acquisizione di segnali a ultrasuoni, relativi al sistema CGS2, operano, richiamati in modo trasparente tramite l'interfaccia, all'interno di una finestra DOS: questa limitazione operativa è dovuta al fatto che non sono disponibili delle librerie per la gestione dell'unità di controllo S3 in ambiente Windows.

Funzionalità del sistema

Le modifiche apportate al sistema CGS2 hanno reso possibili le funzionalità indicate nel paragrafo 4.2.1.2 del rapporto NT 56X97002; di seguito si riportano in dettaglio le risorse utilizzabili per svolgere le singole funzioni.

Ispezione di campioni piani

I campioni con facce piane possono essere ispezionati mediante i moduli da laboratorio ROBOT o mediante la procedura AUS: entrambi i tipi di software consentono di definire il campo di misura e i valori del passo di campionamento in due direzioni tra loro perpendicolari (assi x e y). Si ricorda che i moduli del pacchetto ROBOT fanno uso del sistema di riferimento x,y,z del robot, mentre la procedura AUS impiega un sistema di riferimento con l'origine su uno spigolo della vasca di immersione.

Nel caso in cui il campione abbia facce piane ma non parallele, l'ortogonalità della sonda a ultrasuoni rispetto alla superficie da ispezionare può essere ottenuta in tre modi. Si può infatti disporre il campione su un apposito supporto, in modo che la superficie in esame risulti parallela al piano xy del sistema di riferimento del robot; in alternativa, si può usare un supporto di forma regolare e si può modificare l'inclinazione della sonda, specificando i valori di una terna di angoli, infine si può cambiare il sistema di riferimento (frame) del robot (vedi nota B4-13).

Ispezione di campioni a geometria variabile

I campioni con superficie determinata da una generatrice cilindrica possono essere ispezionati sia mediante la procedura AUS, scegliendo l'opzione Cilindro sull'interfaccia di gestione, sia mediante moduli del pacchetto ROBOT. In questo caso, si possono usare due moduli [B4-13, B4-17]:

- il modulo CILI, che sposta la sonda lungo linee parallele all'asse del cilindro, con incrementi angolari costanti ad ogni riga di scansione
- il modulo BERU1, che prevede l'alloggiamento del campione da ispezionare sul TCP del robot e l'impiego di una sonda fissa, messa perpendicolare all'asse del TCP.

Acquisizione a soglia singola e dell'onda completa in pulse-echo

Le differenti modalità di ispezione sono ottenute sia richiamando i moduli del pacchetto ROBOT [B4-13], sia mediante la procedura AUS: l'interfaccia di gestione della procedura contiene un pulsante che consente di attivare una finestra di colloquio e di selezionare il modo di ispezione da eseguire.

Archiviazione delle immagini e dei file volumetrici

Nel caso di scansione a soglia singola si ottiene un file di tipo immagine: per ciascun punto di misura, definito da una coppia di coordinate x e y, si ricava infatti un valore quantificato con un byte, e al termine dell'ispezione si ottiene una mappa bidimensionale.

Nel caso di scansione a onda completa si ottengono file di tipo volumetrico: per ogni punto di misura si ricavano i valori del segnale campionato a differenti valori di tempo, e al termine dell'ispezione si ottiene una mappa tridimensionale.

Entrambi i tipi di file possono essere archiviati su disco e possono essere richiamati dai vari programmi in dotazione, elencati nella descrizione dell'interfaccia.

Rappresentazione di immagini e grafici sotto forma A-scan, B-scan e C-scan

Nel caso di ispezione a soglia singola, i dati raccolti vengono rappresentati sul monitor RGB del sistema in forma di mappa C-scan, che viene aggiornata al termine di ogni riga di scansione; nel caso di ispezione a onda completa, i dati vengono rappresentati sotto forma B-scan, con aggiornamento al termine di ogni riga di scansione. Le mappe di tipo B-scan e C-scan possono essere riottenute mediante i programmi per la lettura di file inseriti nel software del sistema, che consentono di accedere all'archivio di dati; i grafici di tipo A-scan possono essere ottenuti utilizzando gli appositi moduli dei pacchetti software (ad esempio BIS o Inspector).

Connessione a sistemi di rendering per la visualizzazione di file volumetrici

I dati ottenuti mediante scansione a ultrasuoni con onda completa possono essere rappresentati mediante grafica 3D usando sia gli opportuni moduli del pacchetto AVS, sia i programmi di visualizzazione appositamente sviluppati.

Esecuzione di nuove funzionalità elaborative

L'installazione dei pacchetti per l'elaborazione di segnali e immagini, gestiti dall'interfaccia principale di controllo, offre la possibilità di eseguire una vasta serie di operazioni di tipo logico, matematico e statistico sui dati acquisiti mediante ispezione a ultrasuoni tramite i sistemi CGS2 e THERMO (vedi descrizione del contenuto dell'interfaccia).

Convertibilità del formato immagini

I dati di ingresso al sistema possono essere costituiti da file ricavati mediante le procedure di acquisizione di CGS2 e ETIS oppure mediante le procedure elaborative inserite negli ambienti di elaborazione (ad esempio, BIS, Inspector, Matlab, AVS).

I sistemi software di CGS2, ETIS e BIS utilizzano il formato file proprietario MATROX-PIP, mentre gli altri applicativi di elaborazione e rappresentazione possono impiegare diversi formati standard tra loro convertibili all'interno degli applicativi stessi. Non si ritiene fattibile

estendere i moduli di conversione di ogni singolo applicativo in modo da includere la conversione dei formati PIP e tanto meno quelli attualmente non noti di eventuali file esterni. Si è ritenuto invece sufficiente prevedere un ambiente esterno, gestito dall'interfaccia del sistema (ambiente di Utilità), che prevede inizialmente la conversione da formato PIP al formato standard TIF (vedi Appendice); ulteriori moduli possono essere inseriti in seguito una volta definiti i formati proprietari (ad esempio il formato Alenia) e gli standard di riferimento.

Studio di fattibilità per lo sviluppo del sistema di ispezione

Allo stato attuale, il sistema CGS2, basato sul robot IRB 2000, è in grado di ispezionare in riflessione strutture di piccole dimensioni limitate dall'area di lavoro del robot, posizionato rigidamente.

Nel caso richiesto da Alenia di effettuare indagini su strutture di grandi dimensioni, sarebbe necessario impiegare due assi di movimentazione aggiuntivi.

- *Caso 1. Ispezione in immersione.* In questo caso la struttura da esaminare viene immersa in una vasca opportuna e il robot deve essere appeso su un ponte x,y in grado di consentire macro-spostamenti lungo le direzioni principali della vasca stessa. L'area complessiva da esaminare verrebbe quindi suddivisa in regioni adiacenti ognuna delle quali sarebbe poi ispezionata dal robot sfruttando i suoi sei assi; le regioni potrebbero anche non essere adiacenti e sarebbero selezionate secondo protocolli e modalità gestite dalla procedura di ispezione in modo automatico o interattivo.
- *Caso 2. Ispezione con accoppiamento a getto d'acqua.* In questo caso potrebbero essere adottate due soluzioni alternative: un ponte x,y, del tutto analogo a quello descritto nel caso 1, quando la struttura da esaminare sia posta orizzontalmente; un ponte x quando la struttura sia invece sistemata verticalmente. Nella seconda ipotesi, il macro-spostamento lungo l'asse verticale può essere più vantaggiosamente ottenuto realizzando un dispositivo di movimentazione in z specifico; anche in questo caso la movimentazione può essere controllata in modo interattivo o automatico controllato dal calcolatore di sistema.

Le diverse soluzioni sopra descritte non risultano direttamente attuabili utilizzando il braccio robotizzato : infatti, per il braccio robotizzato IRB 2000; per questo dispositivo l'ABB può infatti fornire soltanto un binario al suolo, controllabile da S3 con programmi scritti in ARLA e operanti quindi in ambiente DOS, l'area di lavoro in questo caso è delimitata dalla macro-movimentazione lungo l'asse x. Per l'asse z è quindi indispensabile provvedere alla progettazione e realizzazione di un apposito dispositivo.

Soluzioni attuabili sono pertanto solo di tipo custom e comportano quindi elevati costi di progetto e di realizzazione, senza peraltro garantire, almeno in modo efficiente ed economico, una mantenibilità nel tempo adeguata allo sia allo sviluppo tecnologico della componentistica elettromeccanica, sia allo sviluppo di specifici nuovi applicativi.

Al fine di ricavare le informazioni utili per inquadrare le linee di progetto e sviluppo di un'eventuale nuova versione del sistema CGS2 in grado di ampliare le possibilità applicative della struttura di ispezione, in particolare consentendone l'utilizzo nel processo di produzione e di soddisfare le esigenze operative espresse da Alenia, sono stati comunque presi più contatti con rappresentanti delle società ABB e Lecroy, che hanno descritto le caratteristiche dei loro nuovi prodotti.

Prodotti ABB

Attualmente, l'ABB ha in commercio nuove serie di robot industriali, che, rispetto ai precedenti modelli, sono soprattutto caratterizzate da una maggiore compattezza, una superiore affidabilità e una minore necessità di manutenzione.

La serie IRB 2400 contiene i modelli con prestazioni simili a quelle del braccio IRB 2000 attualmente impiegato nel sistema CGS2; in particolare, il modello IRB 2400L è il più corrispondente (vedi figure 3 e 4). Rispetto all'IRB 2000, il modello 2400L ha sostanzialmente la stessa capacità di carico, mentre ha prestazioni leggermente superiori sia per quanto riguarda gli intervalli di rotazione degli assi, sia per quanto concerne le velocità di posizionamento degli assi 1+3 e di orientamento degli assi 4+6; la ripetibilità di posizionamento è rimasta invariata (0.1 mm).

Il braccio IRB 2400L è controllato da un'unità della serie S4, che è alloggiata in un armadio di dimensioni molto ridotte rispetto a quello dell'unità S3, ed è dotata di un'unità di programmazione alquanto più evoluta del modello precedente.

Il più recente modello di controllore, l'S4C, è dotato delle funzioni ABB QuickMove, che consentono di muovere il braccio robot con accelerazioni più elevate, riducendo così il tempo necessario per il movimento, e delle funzioni TrueMove, che offrono una maggiore precisione del percorso programmato.

Questo braccio robotizzato a differenza dell'IRB 2000 può essere controllato mediante differenti sistemi software ad alto livello. Esistono tre classi di prodotti per l'impiego generale:

- *BaseWare*, consistente nel sistema operativo del robot e nel software di comunicazione
- *DeskWare*, che consente una programmazione fuori linea su un personal computer, per scopi di addestramento
- *FactoryWare*, che permette un controllo in linea del robot mediante un calcolatore, anche remoto.

Esiste poi il pacchetto *ProcessWare*, che contiene vari programmi specializzati per le operazioni tipiche dei robot industriali, come la saldatura ad arco, l'incollatura, e così via.

Tutto il software operante su calcolatore funziona in ambiente Windows.

Esiste infine il software Robotcad, che consente di simulare i movimenti di un robot in un ambiente strutturato. Questo software, non fornito direttamente dalla ABB, è prodotto dalla Tecnomedics di Torino ed opera su una piattaforma Silicon Graphics; attualmente il software è di tipo generale e non è specializzato per sistemi specifici ABB: l'ABB prevede di produrre direttamente entro breve termine un proprio software.

In conclusione, i nuovi prodotti della ABB offrono degli strumenti più efficienti per la scrittura di programmi applicativi secondo le necessità dell'utente e consentono di ottenere prestazioni superiori. Si deve però ricordare che l'ABB non fornisce, almeno direttamente, un supporto per la realizzazione degli applicativi: se si devono mettere in atto procedure specializzate in funzione della geometria degli oggetti da ispezionare è quindi necessario o provvedere direttamente alla stesura dei programmi oppure ricorrere a servizi esterni non facilmente rintracciabili e comunque con costi alquanto sostenuti. La soluzione più idonea è probabilmente quella di una gestione diretta da parte dell'utente stesso; tuttavia questo tipo di attività richiede l'acquisizione di non indifferenti competenze di tipo informatico, matematico e di progettazione, questo tipo di soluzione può risultare efficiente e conveniente se si individua la necessità di frequenti sviluppi di applicazioni ed aggiornamenti.

In ogni caso, anche impiegando i nuovi componenti disponibili, l'operatività del sistema CGS2, sia per la modalità di programmazione, sia per le effettive prestazioni, risulterebbe simile a quella attuale. La seconda considerazione è dettata dal modo d'impiego del robot nel controllo non distruttivo. Infatti, anche se un sistema con sei gradi di libertà è indispensabile per l'ispezione mediante ultrasuoni di campioni aventi forme complicate, è necessario posizionare la sonda su un grande numero di punti, separati da piccoli intervalli: di conseguenza, la velocità del robot risulta drasticamente ridotta rispetto a quella ottenibile

nelle applicazioni industriali tipiche, nelle quali il robot opera su un numero contenuto di punti di lavoro, eseguendo notevoli spostamenti tra l'uno e l'altro.

In particolare, per effettuare ispezioni di strutture di grandi dimensioni, l'ABB propone per il robot IRB 2400L entrambe le soluzioni presentate in precedenza, basate su multi-assi aggiuntivi a ponte controllati direttamente dai controllori della serie S4. Dall'analisi delle possibilità operative e delle caratteristiche tecniche ottenibili da tali strutture, le soluzioni prospettate sembrano fattibili anche se le prestazioni in termini di velocità di esecuzione possono rimanere insoddisfacenti per le esigenze operative presentate da Alenia.

A questo riguardo è opportuno fare rilevare le prestazioni di velocità di ispezione sono fondamentalmente definite dalle caratteristiche dinamiche del robot, dalle modalità di movimentazione, dal numero di assi che devono essere attivati e dal passo elementare di misura; in particolare se quest'ultimo è molto piccolo (circa 1 mm), come si verifica secondo le specifiche di indagine imposte dall'Alenia, il braccio viene movimentato con una piccola percentuale della velocità massima consentita dal sistema di traslazione ottenibile in realtà con spostamenti di una decina di centimetri. Conseguentemente pur adottando dispositivi più attuali e se non si ritengono modificabili i requisiti operativi a suo tempo definiti, le prestazioni generali non potranno subire sostanziali miglioramenti.

Dal punto di vista invece dell'architettura di sistema, della operabilità procedurale e delle caratteristiche generali di modularità, adattabilità e flessibilità di impiego, è possibile prevedere notevoli vantaggi dovuti sia alla disponibilità dei nuovi dispositivi di movimentazione, sia soprattutto dalla disponibilità di risorse software ad alto livello.

Comunque un progetto, o quanto meno uno studio, dettagliato richiede la disponibilità delle adeguate strutture al fine di valutarne le reali prestazioni ed eseguire le indispensabili sperimentazioni.

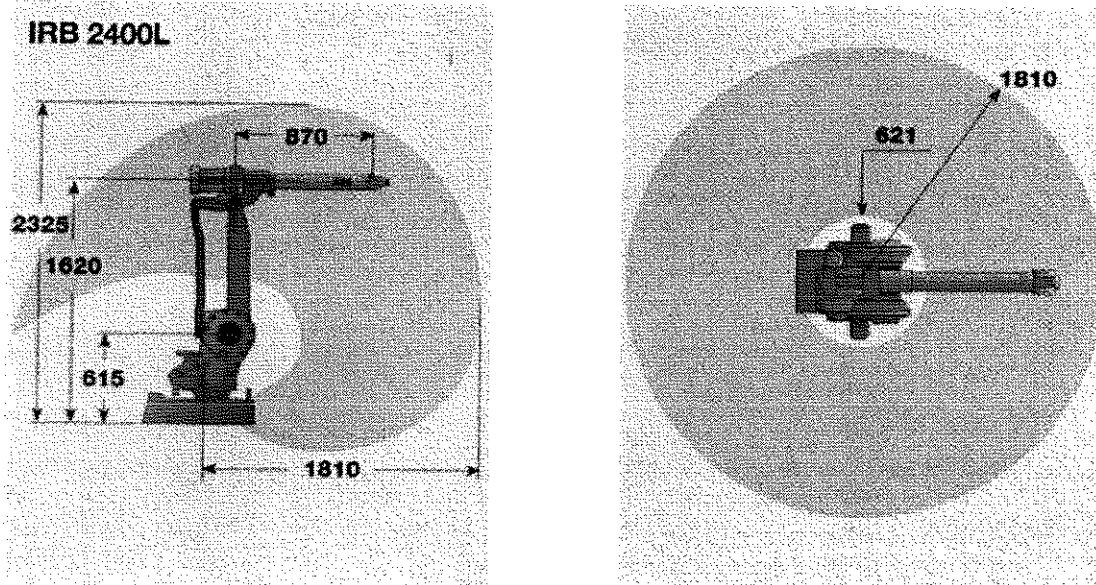


Figura 9. Area di lavoro del robot IRB 2400L (misure in mm).

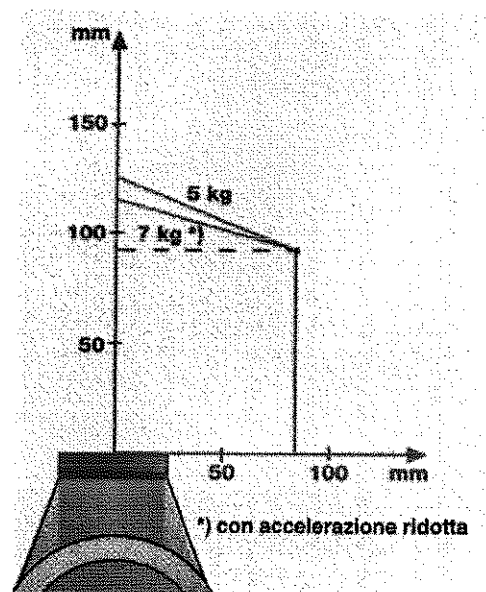


Figura 10. Diagramma di carico del robot IRB 2400L.

Prodotti Lecroy

Durante le operazioni di CND mediante ispezione a ultrasuoni non è necessaria l'osservazione continua del segnale riflesso in ogni punto di misura, e si è quindi esplorata la possibilità di impiegare nel sistema CGS2 un dispositivo di acquisizione più semplice, al posto dell'oscilloscopio digitale usato in questo momento.

Nel caso di ispezione a onda completa, le caratteristiche del segnale da rivelare e il modo di operare del sistema determinano la scelta dell'eventuale dispositivo sostitutivo. Si hanno così le seguenti specifiche.

- *Banda passante.* Poiché è previsto l'uso di differenti sonde a ultrasuoni, con frequenze di risonanza fino a circa 25 MHz, il circuito analogico all'ingresso del dispositivo deve avere una banda passante di almeno 25 MHz
- *Frequenza di campionamento.* Assumendo che la frequenza di campionamento sia tale da ottenere almeno quattro o cinque campioni al periodo, il dispositivo di acquisizione deve avere una cadenza di campionamento massima di circa 100 MS/s (S/s \equiv campioni il secondo), possibilmente regolabile in modo da ottimizzarle quando s'impiegano sonde con frequenza di risonanza minore di 25 MHz
- *Risoluzione verticale.* In base alle caratteristiche del campione esaminato, l'attenuazione del segnale riflesso può variare all'interno di una dinamica molto estesa: in generale, si possono avere variazioni di intensità dell'onda riflessa anche superiori a tre decadi. Il dispositivo di acquisizione deve avere quindi una regolazione di scala, in modo da adattare la sensibilità del circuito d'ingresso ad un valore di riferimento, determinato dalle caratteristiche del campione in esame, e deve avere un convertitore analogico/digitale con la risoluzione necessaria per coprire un'opportuna dinamica di misura. Con una risoluzione di 10 bit si copre all'incirca una dinamica di 60 dB, sufficiente per l'esplorazione completa di molti tipi di campioni; con una risoluzione di 8 bit, si ha una dinamica di circa 44 dB: in questo caso, se il campione ha una struttura tale che la dinamica del segnale riflesso è superiore all'intervallo suddetto, anche in assenza di difetti, è possibile eseguire un'ispezione per regioni distinte, regolando per ciascuna di esse la scala del circuito d'ingresso.
- *Memoria dati.* La durata dell'intervallo temporale dell'onda completa di riflessione acquisita dal sistema CGS2 è attualmente determinata dalle caratteristiche della scheda di memoria PIP-1024, impiegata per la rappresentazione di tipo B-scan: per ciascun punto di misura si ricavano 512 campioni, e la durata dell'intervallo dipende dalla frequenza di campionamento selezionata. Il generatore di ultrasuoni emette impulsi distanziati nel tempo, in base al sincronismo che viene generato dal controllore del robot quando la sonda ha raggiunto la posizione di misura: di conseguenza, il dispositivo di acquisizione deve campionare il segnale d'ingresso soltanto durante intervalli temporali di lunghezza predefinita, tra loro separati. Si può supporre quindi che il dispositivo sia dotato di una memoria tampone con la capacità necessaria per immagazzinare il pacchetto di dati ricavati da una singola misura, oppure i dati ottenuti lungo un'intera riga di scansione: nel primo caso, i dati scritti in memoria sono trasferiti al calcolatore nel tempo impiegato per lo spostamento della sonda sul successivo punto di misura, mentre nel secondo caso si può eseguire il trasferimento dei dati in sincronia con lo spostamento della sonda all'inizio della successiva riga di scansione. La dimensione della memoria dati del dispositivo dipende dal modo di scaricamento prescelto, dalla durata del campionamento e dalla risoluzione di misura: ad esempio, supponendo di scaricare la memoria ad ogni punto di misura, se si ricavano $\approx 10^3$ campioni con risoluzione di 8 bit, la memoria dati deve avere una dimensione di ≈ 10 KB.

In una prima indagine eseguita anche in collaborazione con esperti e rappresentanti della Lecroy, svoltasi all'inizio dell'anno, sono stati individuati alcuni modelli di schede per l'acquisizione dati, che dal punto di vista tecnico e operativo soddisfano i requisiti elencati in precedenza. Mediante queste schede e il relativo software risulta possibile emulare le fondamentali funzioni di acquisizione e gestione di segnali, che sono tipicamente svolte dall'oscilloscopio digitale nella attuale struttura CGS2, in modo però completamente controllabile dal calcolatore ospite. In particolare risultavano disponibili sia schede singole, inseribili o sul bus ISA oppure sul bus PCI di un calcolatore di tipo personal, sia schede doppie, da inserire su entrambi i bus, ed era possibile indirizzare la scelta in base alle prestazioni desiderate. Tutte le schede potevano essere gestite in ambienti Windows 95 o NT, fattore questo fondamentale per la realizzazione di un sistema con le richieste caratteristiche di adattabilità e flessibilità di sviluppo degli applicativi. Sulla base di dell'indagine condotta erano state scelte la scheda SAC8012 (100 MS/s, 12 bit, 60 db) o in alternativa la scheda SAC265 (130 MS/s, 8 bit, 42 db).

Più recentemente la Lecroy ci ha però comunicato di aver cessato questa linea di produzione e conseguentemente di non essere in grado di fornire l'assistenza su tali prodotti: in una riunione avvenuta successivamente, è stata quindi esaminata una nuova classe di prodotti messa in commercio dalla LeCroy.

Il dispositivo Signalyst LSA1000 è un digitalizzatore/analizzatore di segnali ad alta velocità, interamente controllato da calcolatore. Lo strumento è in grado di acquisire segnali in base ad un trigger definibile con un vasto insieme di parametri, di eseguire sui dati acquisiti differenti tipi di operazioni di misura e di analisi e di trasferirli sul calcolatore attraverso una porta di collegamento Ethernet: le prestazioni di questo strumento sono però ben al di sopra di quelle richieste dall'applicazione: infatti, il Signalyst ha una banda passante di 750 MHz e può campionare il segnale applicato a uno dei due ingressi fino alla frequenza di 2 GS/s.

In alternativa, è possibile impiegare uno strumento meno costoso, ma rispondente ai requisiti di progetto, costituito dai dispositivi della serie 9300 OEM Kit.

Questi dispositivi consistono in un cassetto con ingressi BNC per i segnali e gli impulsi di sincronismo e con porte di collegamento IEEE-488 o RS-232-C; all'interno del cassetto sono alloggiati i moduli per l'alimentazione e una piastra madre, contenente un amplificatore/attenuatore per il segnale d'ingresso, un convertitore veloce analogico-digitale, una memoria ad alta velocità, e un processore per l'elaborazione dei dati, la loro gestione e il trasferimento ad un calcolatore ospite.

La piastra madre del kit corrisponde a quella di un oscilloscopio digitale della serie 9300; il kit ha dunque le stesse prestazioni dell'oscilloscopio, salvo il fatto che i comandi devono essere forniti tutti mediante controllo remoto, e consente di ottenere gli stessi risultati con un costo inferiore e con ingombri e consumi ridotti.

Il kit può essere configurato dall'utente, che sceglie le prestazioni della piastra madre (vedi tabella 1) e i tipi di collegamenti necessari: ad esempio, nell'applicazione prevista si può scegliere la piastra madre del modello 9304C.

La tabella 2 riassume le caratteristiche principali di un kit.

Adottare una delle soluzioni su indicate non comporta miglioramenti sostanziali a livello delle performance, mentre può vantaggiosamente consentire una gestione ottimizzata della strumentazione utilizzata tramite l'impiego di un ambiente operativo ad alto livello e opportuni pacchetti gestionali. Inoltre la capacità di operare controlli in modo remoto aumenta la flessibilità d'uso del sistema.

Per quanto riguarda infine la possibilità di integrare all'interno del calcolatore ospite anche opportune schede di generazione di segnali US, si è potuto rilevare che il mercato non offre dispositivi con caratteristiche di funzionalità ed affidabilità tali da soddisfare sufficientemente le necessità tipiche di un CND industriale, anche se questi dispositivi apparentemente possono essere gestiti in ambienti operativi ad alto livello. E' opportuno inoltre considerare che l'integrazione in un PC standard, cioè con una organizzazione hardware appositamente

progettata per le specifiche applicazioni, di componentistica che lavora o con grandi energie o ad elevata velocità può determinare condizioni incontrollate di instabilità nel funzionamento del calcolatore ospite, motivo questo che ha indotto la LeCroy alla eliminazione delle schede in precedenza citate dalla sua linea di produzione.

9300C Series High-Performance Digital Oscilloscopes

Model	Bandwidth	Sample Rate	Memory	Channels
9384C	1 GHz	1 GS/s	100 kpts./ch	4
9384CM	1 GHz	1 GS/s	500 kpts./ch	4
9384CTM	1 GHz	1 GS/s	500 kpts./ch	4
9384CL	1 GHz	1 GS/s	2 M pts./ch	4
9374C	1 GHz	500 MS/s	50 kpts./ch	4
9374CM	1 GHz	500 MS/s	250 kpts./ch	4
9374CTM	1 GHz	500 MS/s	500 kpts./ch	4
9374CL	1 GHz	500 MS/s	2 Mpts./ch	4
9370C	1 GHz	500 MS/s	50 kpts./ch	2
9370CM	1 GHz	500 MS/s	250 kpts./ch	2
9370CL	1 GHz	500 MS/s	2 Mpts./ch	2
9354C	500 MHz	500 MS/s	50 kpts./ch	4
9354CM	500 MHz	500 MS/s	250 kpts./ch	4
9354CL	500 MHz	500 MS/s	2 Mpts./ch	4
9350C	500 MHz	500 MS/s	50 kpts./ch	2
9350CM	500 MHz	500 MS/s	250 kpts./ch	2
9350CL	500 MHz	500 MS/s	2 Mpts./ch	2
9344	500 MHz	250 MS/s	250 kpts./ch	4

Medium Performance & Specialty Digital Oscilloscopes

Model	Bandwidth	Sample Rate	Memory	Channels
9304C	200 MHz	100 MS/s	50 kpts./ch	4
9304CM	200 MHz	100 MS/s	200 kpts./ch	4
9310C	400 MHz	100 MS/s	50 kpts./ch	2
9310CM	400 MHz	100 MS/s	200 kpts./ch	2
9310CL	400 MHz	100 MS/s	1 Mpts./ch	2
9314C	400 MHz	100 MS/s	50 kpts./ch	4
9314CM	400 MHz	100 MS/s	200 kpts./ch	4
9314CL	400 MHz	100 MS/s	1 Mpts./ch	4
9361C	300 MHz	2.5 GS/s	500 -25k	2
9362C	1.5 GHz	10 GS/s	500 -25k	2

Tabella 1. Caratteristiche principali degli oscilloscopi digitali Lecroy, serie 9300.

Parts Included

- 93xx motherboard: 2 or 4 input channels with amplifier, sample and hold, ADC and acquisition memory.
- 93xx processor board: 32 MHz 68030/68882 with 4-16 Mbytes processing RAM (upgradable to 64 Mbytes).
- 93xx I/O board: Includes IEEE-488 (GPIB) and RS-232-C ports

Power Supply

The power supply provided with the 9300 series OEM kits supplies +/- 5.2 volts and +/- 15.0 volts. There is an output adjustment range of approximately 5%. The output set point tolerance under maximum load is typically +/- 50 mV on the 5.2 V supplies and 100 mV for the 15 V supplies. Regulation is to within +/-1% of nominal voltage on all outputs under all conditions of rated load, input voltage or frequency, and operating temperature.

The input of the power supply is a 90-264 VAC universal input. The power supply will configure itself automatically for 115 or 230 VAC. Input frequency can be 45 to 66 Hz.

The exact part numbers of the PC boards and power supply vary depending on which OEM kit is desired. A variety of connection hardware is also supplied. Full parts list, mechanical drawings and schematics are available.

Environmental Characteristics of OEM Kits

9300 series OEM kits are designed to meet MIL-STD-810D procedures and MIL-T-28000C paragraph 4.5.5.4.2

- High Temperature: non-operating, 48 hours at 40°C; operating, 2 hours at 50°C
- Low Temperature: non-operating, 24 hours at -50°C; operating, 2 hours at 0°C.
- Humidity: to 75% at 50°C
- Vibration: tested for "truck", "aircraft" and "military" test cycles.
- Shock: 30 G's peak, duration 12 ms, 3 times non-operating.

Weight: Approximately 5 kg.

Cooling: The airflow through the main board heat sinks should be at least 49 CFM (84 m³/h) and through the power supply 45 CFM (76 m³/h).

Tabella 2. Caratteristiche principali di un kit OEM 9300.

Sistema ETIS

In base alle indicazioni espresse nel paragrafo 4.2.2.2 del rapporto NT 56X97002 è stato eseguito uno studio per una modifica del sistema ETIS, comportante l'impiego di motori passo-passo per lo spostamento del banco, l'uso di un generatore di tipo standard per il pilotaggio di una o due sonde a ultrasuoni e l'impiego di un oscilloscopio digitale per l'acquisizione e la conversione A/D dei segnali US.

Architettura del sistema

La figura 5 riporta uno schema semplificato della possibile architettura del sistema ETIS, modificato secondo quanto indicato in precedenza.

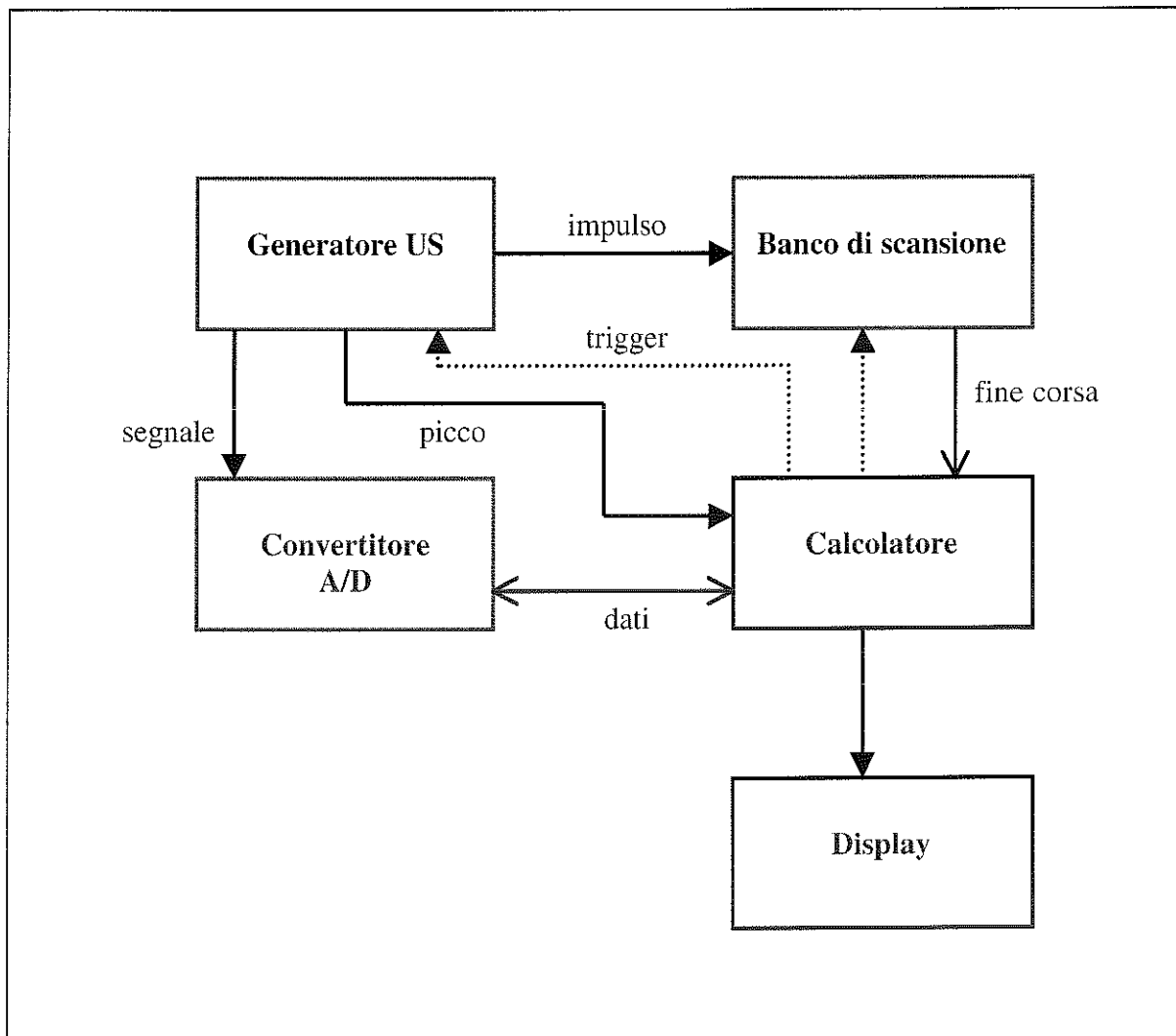


Figura 11. Schema di principio del sistema ETIS.

In questo caso, a differenza di quanto avviene nel sistema CGS2, il movimento della sonda è controllato da un unico programma, residente sul calcolatore del sistema. Attraverso le linee di ingresso di una porta di I/O standard, il programma legge lo stato del banco di scansione (condizioni di fine corsa); attraverso le linee di uscita della porta, il calcolatore invia ai due motori posti sul banco gli impulsi necessari per compiere gli spostamenti di un singolo passo. Quando la sonda è in una posizione di misura, il programma invia al generatore ad ultrasuoni un impulso di trigger, in conseguenza del quale il generatore pilota la sonda in modo

impulsivo, con la potenza regolata in precedenza: il generatore provvede anche ad amplificare il segnale di eco ricevuto dalla sonda emettitrice, oppure, nel caso di misure in trasmissione, il segnale elettrico prodotto dalla sonda ricevente.

Nel caso di misure a soglia singola, il generatore può fornire su un'apposita uscita il valore di picco del segnale rilevato. Gli strumenti di tipo analogico (ad esempio, il generatore 5052UA, impiegato nel sistema CGS2), forniscono il valore di picco del segnale sotto forma di un livello in continua, che può essere inviato ad una scheda di conversione A/D a bassa frequenza, inserita nel calcolatore del sistema. Invece, gli strumenti con uscita digitale forniscono il valore di picco già espresso mediante uno o due byte; questo dato può essere inserito nel calcolatore attraverso una porta di comunicazione avente lo stesso protocollo di quella posta sul generatore (ad esempio, RS232 o GPIB).

Nel caso di misure a onda completa, è necessario impiegare un convertitore A/D di tipo veloce, dotato di una memoria tampone per l'immagazzinamento temporaneo dei campioni ricavati dal segnale trattato: a questo scopo si può fare uso degli strumenti descritti in precedenza per il sistema CGS2, vale a dire o un oscilloscopio digitale o un kit OEM della Lecroy.

Nella versione attuale del sistema ETIS, la rappresentazione delle mappe di tipo C-scan ottenute alla fine di un'ispezione è fatta usando un monitor separato, pilotato da una scheda Matrox PIP-1024: in questo modo si possono rappresentare immagini su finestre di 512×512 pixel. Nella nuova versione del sistema e adottando la nuova strumentazione LeCroy e gli attuali convertitori PcLabs che possono operare in ambiente Windows, si può mantenere questa soluzione, oppure si possono rappresentare le mappe sullo stesso display del calcolatore, sia impiegando la scheda VGA, sia usando opportune schede video: in questo modo è possibile estendere le dimensioni della finestra di acquisizione e di rappresentazione.

Motori passo-passo

E' stata eseguita un'indagine di mercato e sperimentale e si è verificato anzitutto che non sono disponibili schede per il pilotaggio dei motori inseribili direttamente su un PC in modo efficiente e affidabile: si sono quindi presi in considerazione i prodotti standard, costituiti da motori e dai relativi sistemi di controllo, alloggiati in contenitori separati e collegati al calcolatore attraverso opportune porte di comunicazione gestibili ad alto livello.

Visto il modo di funzionamento del sistema ETIS, è sufficiente impiegare un controllore di tipo semplice, anziché un controllore in grado di determinare in modo autonomo delle traiettorie complesse, che non sono necessarie nell'applicazione considerata.

In base alle considerazioni fatte, si sono individuati due modelli di motori, con relativi traslatori, prodotti dalla Slo-Syn: con questi componenti si hanno sostanzialmente le stesse caratteristiche, in termini di coppia e di potenza, offerte dai sistemi di movimentazione attualmente montati sul banco di scansione del sistema ETIS. Con la modifica proposta si possono quindi ottenere le prestazioni originarie del banco di scansione.

La tabella 3 riporta le caratteristiche nominali dei motori scelti.

Modello	Fili	Tensione V	Corrente A/fase	Resistenza Ω	Induttanza mH	Coppia unipolare Nm	Coppia bipolare Nm
M093- FD8822	8	2.27	7	0.324	2	3.18	3.88
M112- FJ8030	8	1.52	15.2	0.1	0.88	7.9	9.8

Tabella 3. Caratteristiche dei motori Slo-Syn proposti per il sistema ETIS.

Modifiche al progetto meccanico del carrello di scansione

La società S. Salvadori ha ricevuto dall'IEI le informazioni relative alle dimensioni e alla forma delle flange dei motori scelti, e ha ottenuto all'Alenia parte dei disegni meccanici originali del banco di scansione dell'ETIS. In base alla documentazione raccolta, la società ha eseguito per conto dell'IEI i disegni meccanici necessari per la realizzazione della nuova versione del banco, riguardanti sia la sostituzione dei motori, sia l'alloggiamento di nuovi tipi di sonda.

I disegni di progetto fatti dalla Salvadori non sono completamente di tipo realizzativo, in quanto non sono stati forniti dall'Alenia i disegni originali di un particolare rilevante del braccio del banco; i disegni realizzativi potranno essere fatti o recuperando gli originali o eseguendo delle misure direttamente sul pezzo in questione.

Copie ridotte dei disegni sono riportate in Appendice; le copie originali sono allegate al presente rapporto.

Sviluppo software

L'IEI ha installato sul calcolatore attualmente usato per lo sviluppo del sistema CGS2 un programma per l'acquisizione di mappe a ultrasuoni mediante una sonda azionata da un sistema a due gradi di libertà, equivalente dunque alla nuova versione prevista per il sistema ETIS. Il sistema è stato sperimentato impiegando un carrello di dimensioni ridotte appositamente costruito e dotato di motori analoghi a quelli sopra indicati ma con caratteristiche di potenza e coppia ovviamente ridotte

La figura 12 mostra la struttura della stazione di lavoro necessaria per l'esecuzione del programma.

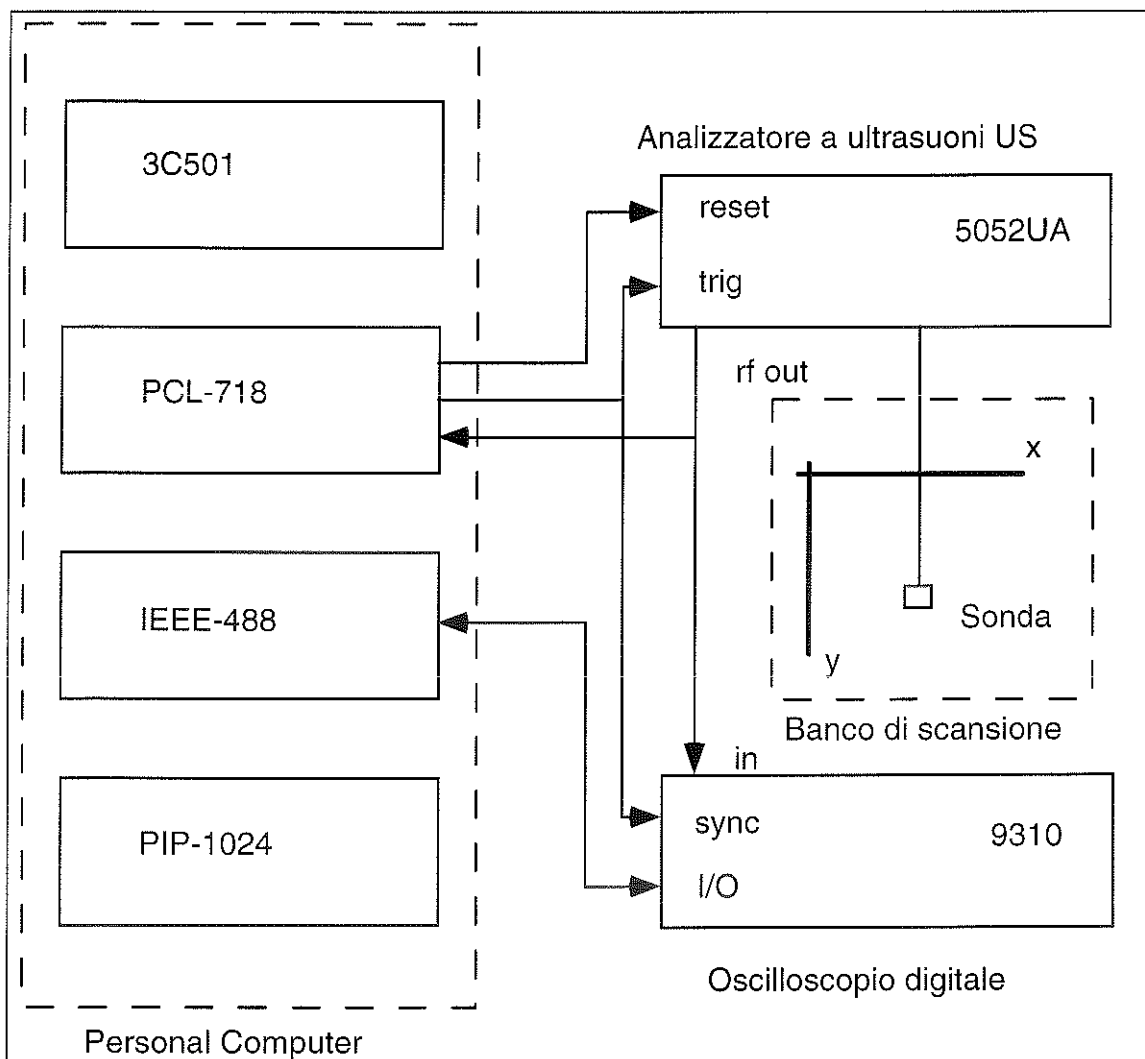


Figura 12. Architettura hardware richiesta dal programma per la scansione di campioni piani.

In figura sono indicati schematicamente i seguenti componenti:

- un personal computer, nel quale sono residenti i programmi per il controllo della periferica di acquisizione e per l'acquisizione dei dati
- un banco di scansione xy, mediante il quale la sonda a ultrasuoni viene tralata in un piano
- un analizzatore a ultrasuoni, che pilota la sonda ed è in grado di fornire il valore di picco del segnale di eco all'interno di una finestra temporale prestabilita

- un oscilloscopio digitale, per il campionamento ad alta frequenza del segnale di eco rivelato dal generatore a ultrasuoni.

Durante la scansione del campione in esame, ad ogni posizione di misura il calcolatore pilota l'ingresso di trigger esterno del generatore a ultrasuoni attraverso una linea d'uscita di un'interfaccia digitale; in conseguenza dell'impulso di trigger il generatore emette un impulso ultrasonoro e fornisce in uscita il segnale di eco. Nel caso di scansione a soglia singola, il rivelatore di picco del generatore produce un segnale analogico che viene inviato sul canale d'ingresso del convertitore analogico-digitale inserito nel calcolatore; invece, nel caso di acquisizione a onda completa, l'oscilloscopio digitale produce la sequenza dei dati di campionamento del segnale di eco, che viene inviata sull'interfaccia parallela inserita anch'essa nel calcolatore.

Convertitore analogico-digitale

Nel calcolatore della stazione di acquisizione dev'essere inserita una scheda PCL-718 della PC-LabCard, che contiene in particolare un convertitore D/A a 12 bit con frequenza di campionamento di 60 kHz, un orologio-contatore Intel 8254, una porta digitale d'ingresso e una d'uscita, entrambe a 16 bit; le funzioni della scheda sono programmabili tramite i software PCLS-718-C e PCLS-700-1.

Il contatore della scheda PCL-718 viene usato per la sincronizzazione delle operazioni e per la generazione degli impulsi di trigger e di reset, inviati al generatore di ultrasuoni attraverso due bit della porta digitale d'uscita; il convertitore A/D viene usato per il campionamento del segnale di picco rivelato dal generatore, applicato su un canale dell'ingresso analogico della PCL-718.

Generatore a ultrasuoni

La stazione di acquisizione impiega un analizzatore a ultrasuoni Panametrics 5052UA.

La generazione degli impulsi a ultrasuoni è controllata dagli impulsi di sincronismo applicati sull'ingresso Trigger dello strumento; nel modo di scansione a soglia singola il generatore fornisce il valore di picco del segnale di eco all'interno di una finestra temporale: la posizione e l'ampiezza della finestra sono regolabili mediante le manopole e i selettori di GATE DELAY e GATE WIDTH.

Oscilloscopio digitale

La stazione di lavoro può pilotare un oscilloscopio digitale LeCroy, della serie 9300 o 9450: quest'ultimo è impiegato nell'attuale sistema CGS2.

L'oscilloscopio digitale viene impiegato nel modo di scansione a onda completa. In questo caso, il segnale proveniente dall'uscita RF dell'analizzatore 5052UA viene inviato su un canale d'ingresso dell'oscilloscopio; l'impulso di sincronismo proveniente dal calcolatore e inviato sull'ingresso EXT TRIG del 5052UA viene applicato anche all'ingresso TRIG dell'oscilloscopio.

Il campionamento del segnale d'ingresso è governato mediante il modo Qualified Edge Trigger dell'oscilloscopio, in modo da evitare di eseguire un campionamento durante il tempo compreso fra l'invio dell'impulso ultrasonoro e l'arrivo del segnale di eco. Per ottenere questo risultato si deve impostare un ritardo opportuno rispetto al segnale di sincronismo prodotto dal generatore: il valore del ritardo dipende dalla distanza s tra la sonda a ultrasuoni e la superficie del campione.

La base dei tempi dell'oscilloscopio va regolata in modo da campionare tutto il segnale di interesse, con un'opportuna frequenza di campionamento.

Rappresentazione delle mappe

Al termine della scansione la stazione presenta la mappa 2D dei risultati su un monitor RGB pilotato dalla scheda Matrox PIP-1024: si hanno mappe di tipo C-scan nel caso di scansione a soglia singola e mappe di tipo B-scan nel caso di scansione a onda completa.

Interfaccia utente

Il programma è controllato mediante un'interfaccia grafica, che consente di scegliere mediante pulsanti i tipi di operazione da compiere e di selezionare mediante un cursore l'area di scansione (vedi figura 13). I dati ricavati dall'ispezione a ultrasuoni vengono inseriti in un apposito archivio e possono essere richiamati da altri programmi per eseguire operazioni di misura o di analisi

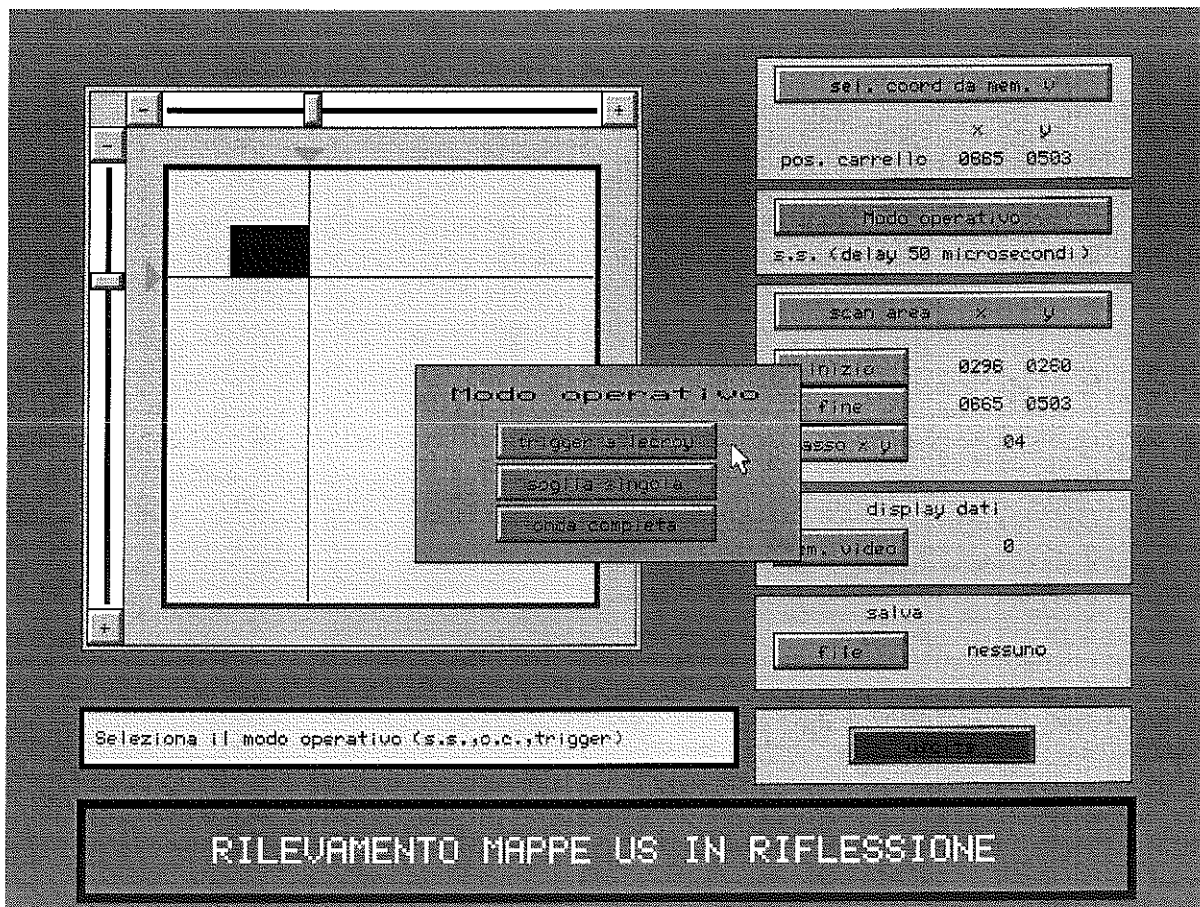


Figura 13. Interfaccia utente del programma di scansione xy.

Funzionalità del sistema

Le modifiche apportate al sistema CGS2 hanno reso possibili le funzionalità indicate nel paragrafo 4.2.1.2 del rapporto NT 56X97002; di seguito si riportano in dettaglio le risorse utilizzabili per svolgere le singole funzioni.

Aggiornamento del banco di scansione xy mediante motori passo-passo

Lo studio eseguito ha mostrato la possibilità di sostituire l'attuale sistema di movimentazione del banco di scansione, costituito da motori in AC, attuatori, encoder, una vite ed una cinghia di trasmissione, con un nuovo sistema, costituito da motori passo-passo, traslatori pilotabili in modo diretto da calcolatore, e viti di trasmissione: utilizzando delle viti di precisione si possono ottenere spostamenti, con errore di posizione non incrementale inferiore al 5% del passo.

Aggiornamento dell'acquisizione ultrasonora

Il sistema proposto contiene un generatore di segnali a ultrasuoni in grado di pilotare sonde con differenti frequenze di risonanza, senza dover fare nessuna modifica ai circuiti di condizionamento del segnale, come sarebbe invece stato necessario secondo il metodo di rivelazione del segnale attualmente impiegato nel sistema ETIS.

Utilizzando un generatore di segnali del tipo Panametrics, impiegato nel sistema CGS2, si possono eseguire scansioni sia in riflessione che in trasmissione; utilizzando un convertitore A/D con la banda e la frequenza di campionamento necessarie si possono eseguire scansioni a onda completa oltre alle scansioni a soglia singola: in questo modo si realizzano tutti i tipi di acquisizione di segnali impiegati nelle tecniche standard d'ispezione mediante ultrasuoni.

Ridisegno e sviluppo del software di sistema

E' stata realizzata un'interfaccia principale di gestione (vedi descrizione relativa al sistema CGS2), che consente di richiamare dall'ambiente Windows vari programmi per l'acquisizione di segnali o per l'elaborazione delle mappe ricavate mediante scansione a ultrasuoni. E' stato anche inserito nel sistema un programma che è stato collaudato con una apparecchiatura sostanzialmente simile a quella prospettata sia come architettura generale, sia come caratteristiche di movimentazione. Questo programma è quindi in grado di pilotare la nuova versione di ETIS, definita nello studio di fattibilità: è opportuno considerare però che il programma gestisce una strumentazione analoga a quella impiegata nel sistema CGS2 (oscilloscopio LeCroy 9450, generatore Panamatrix 5052UA, scheda IEE 488) che non può operare direttamente in ambiente Windows per i motivi più volte citati: l'interfaccia ad alto livello prevista per il sistema CGS2 consente comunque l'attivazione in Windows di una finestra operante in DOS.

Convertibilità delle immagini tra diversi formati standard

I moduli per la conversione del formato dei dati, già citati in merito alle fasi di attività relative al sistema CGS2, sono in grado di operare anche sui file ottenuti mediante il sistema ETIS.

Sistema THERMO

Il sistema THERMO consente di ricavare mappe termiche stimulate, in modo da ricavare informazioni sulla struttura del campione esaminato

Il sistema era costituito sostanzialmente da:

- una termocamera per la ripresa di immagini all'infrarosso termico (8+12 μm)
- un dispositivo per l'emissione controllata di impulsi di energia termica
- una piattaforma elaborativa per l'acquisizione e l'elaborazione di immagini.

In base alle indicazioni espresse nel paragrafo 4.2.3.2 del rapporto NT 56X97002 sono state eseguite le azioni necessarie per sostituire alla piattaforma impiegata in precedenza una nuova piattaforma di calcolo operante in ambiente Windows 95/NT, mantenendo, e possibilmente aumentando, le prestazioni complessive ottenute dal sistema precedente.

Piattaforma elaborativa

La nuova piattaforma elaborativa del sistema è costituita dal calcolatore di tipo personal, impiegato per il sistema CGS2; si ha dunque la seguente configurazione di base:

- Scheda madre ASUS TX97-E, chip Intel TX
- CPU Pentium 200 MHz MMX
- Memoria 128 MB DIMM
- Scheda video MATROX MILLENIUM 2, 4 MB
- Disco di sistema 4.3 GB
- Sistema Operativo Microsoft Windows

Inoltre. Per soddisfare i requisiti relativi all'acquisizione di sequenze di immagini, nel calcolatore è stata inserita una scheda Matrox Pulsar.

Dispositivo di acquisizione

La scheda Pulsar è in grado di acquisire le immagini ottenute con segnali video di tipo analogico o digitale con differenti formati e di rappresentarle, eventualmente, su un display dedicato, differente dal monitor del calcolatore.

L'architettura della sezione di acquisizione (Grab Section) è costituita dai seguenti moduli principali.

- *Convertitore analogico/digitale.* Mediante questo dispositivo, il segnale video applicato su un ingresso analogico viene quantizzato con una risoluzione programmabile sino a 10 bit (1024 livelli) per campione; si possono inoltre definire il guadagno e la soglia del convertitore
- *Generatore di sincronismi.* Mediante questo dispositivo si può impostare il modo di funzionamento della conversione A/D (pilotaggio da parte della telecamera o da parte della scheda) e si possono definire le specifiche temporali dei segnali di sincronismo impiegati (sincronismo di quadro, di riga e di pixel). Per la trasmissione di questi segnali viene usata la porta digitale di I/O della scheda.

I dati ricavati di acquisizione possono essere inseriti nella memoria locale della scheda (2MB) oppure trasferiti al calcolatore attraverso il bus PCI (Peripheral Computer Interface). Quest'ultimo è un bus a 32 bit, con la velocità di picco di 132 MB/s; se il calcolatore ospite ha un chipset di elevate prestazioni, i dati di acquisizione prodotti dalla scheda Pulsar possono essere trasferiti nella memoria centrale alla velocità di 60 MB/s.

Sviluppo software

L'IEI ha sviluppato una procedura per l'acquisizione di sequenze di immagini, in grado di memorizzare fino a 150 quadri TV (frame) di 768×576 pixel, alla cadenza di 25 quadri/s; ogni pixel può essere definito da 8 o da 10 bit.

La procedura è eseguita sotto il sistema operativo Windows NT. Mediante un'interfaccia utente di tipo interattivo sono determinati il numero N di quadri da acquisire ($N \leq 150$) e la cadenza C di acquisizione ($C = n \times 40$ ms, con n intero) e viene definito il tipo di telecamera impiegata per l'acquisizione.

Le immagini acquisite sono memorizzate in posizioni successive della RAM; al termine dell'acquisizione è possibile esaminare in moviola la sequenza sia in continuo, sia per singoli quadri o semi-quadri TV (field); si possono inoltre compiere operazioni di editing, come eliminazione di quadri o semiquadri.

Le sequenze archiviate possono essere richiamate ed esaminate per singoli frame o con continuità; in questo caso è mantenuta la temporizzazione di acquisizione anche se alcuni frame sono stati eliminati dalla sequenza: ciò consente di non introdurre artefatti nelle eventuali misure per l'estrazione di parametri cinetici.

La procedura è stata installata sul calcolatore del sistema; l'uso della procedura è descritto nel manuale allegato alla presente relazione.

Funzionalità del sistema

In seguito all'attività svolta, il sistema THERMO possiede le funzionalità indicate nel paragrafo 4.2.3.2 del rapporto NT 56X97002; in particolare, il sistema consente l'esecuzione delle seguenti funzioni.

Acquisizione di immagini termografiche mediante termocamera con standard CCIR

La scheda Pulsar è in grado di acquisire il segnale video prodotto dalla termocamera di cui è previsto l'impiego; si possono memorizzare immagini singole o sequenze di immagini con la cadenza prefissata.

Acquisizione in tempo reale con dinamica di 10 bit e sincronizzazione esterna

Il sistema dotato della scheda Pulsar è in grado di catturare immagini in concomitanza di un segnale di trigger, alla risoluzione di 10 bit.

Funzionalità di editing sui termogrammi

Il software del sistema consente di selezionare i frame acquisiti prima della loro scrittura nella memoria permanente.

Archiviazione delle immagini

Le immagini singole o in sequenza vengono inserite in un archivio predefinito, dal quale vengono richiamate per l'esecuzione differita delle operazioni di analisi.

Integrabilità delle funzioni del sistema Inspector

Le immagini archiviate possono essere richiamate dal software Inspector, caricato sul sistema, e quindi elaborate.

Convertibilità delle immagini tra diversi formati standard

I moduli per la conversione del formato dei dati, già citati in merito alle fasi di attività relative al sistema CGS2, sono in grado di operare anche sui file ottenuti mediante il sistema THERMO.

Appendice

Programma di conversione immagini PIP→Tiff e Tiff→Pip

Il programma PIPTIF permette la trasformazione di un file immagine di tipo PIP in un file immagine di tipo Tiff, o viceversa.

Il programma è stato implementato sotto il sistema operativo DOS nell'ambiente Microsoft Developer Studio di Visual C++, versione 4.0.

Nella trasformazione di un file PIP in un file Tiff, l'immagine di partenza può trovarsi nell'archivio ARCHIV del sistema BIS386, in cui compare con un nome fittizio associato ad un file reale sul disco, oppure direttamente in una direttrice dell'HD.

Fornendo il nome del file da trasformare, si indica anche se la ricerca dev'essere eseguita, in ARCHIV o in altre direttrici. Nel primo caso, il nome fittizio dell'immagine dev'essere seguito dall'estensione *bis*; nell'altro caso il nome consiste espressamente nel percorso su HD del file immagine. Al termine della trasformazione, nel primo caso si ottiene il file *nome (fittizio).tif* situato nella direttrice **c:\ipm\u** di ARCHIV, nel secondo caso si ottiene il file *percorso\nome.tif*.

Nella trasformazione di un file tipo Tiff a un file di tipo PIP, viene inizialmente richiesto il *percorso\nome.tif* del file da convertire; successivamente, il programma chiede se il file risultato debba essere o no inserito in ARCHIV. Nel primo caso, il programma elimina l'estensione *.tif* dal nome del file da convertire e controlla che l'archivio non sia saturo e che non compaia già una immagine con lo stesso nome; se la trasformazione è possibile, il programma aggiunge in ARCHIV il nome (fittizio) e i parametri caratteristici, del file risultato, e stabilisce una corrispondenza col file risultato, creato nella direttrice **c:\ipm\u** dell'HD. Nel secondo caso, il programma crea il file risultato nella stessa direttrice del file origine *.tif*, col solito nome ma senza estensione.

Programma di conversione immagini ITEX_100 → BIS386

Il programma TRANS si trova nel menù delle Utility del Sistema BIS386, sotto la dizione ITEX_100 -> BIS386; il programma è stato sviluppato in ambiente DOS, implementato in C, e prevede l'utilizzo della scheda grafica PIP MATROX 1024.

Poiché il programma prevede che i file da convertire si trovino su Floppy-disk, inizialmente il programma si mette in attesa che nel Drive A sia inserito il Floppy-disk contenente i file immagine col formato ITEX_100. In seguito ne stampa la directory e quindi chiede di battere sulla tastiera il nome del file da convertire (il nome va inserito senza specificare né il nome del drive né l'estensione del file).

A questo punto il programma esegue la conversione del file nel formato PIP e lo visualizza sul monitor grafico pittorico del sistema; se la dimensione dell'immagine è minore od uguale di 512×512 , il programma chiede quale quadrante del Frame Buffer dev'essere usato per rappresentare l'immagine. Una volta che l'immagine è stata visualizzata, per eseguirne l'archiviazione è sufficiente richiamare il menù IMAGE TRANSF e selezionare il comando *Trasferimento Frame Buffer → HD*.

Disegni meccanici per la modifica del sistema ETIS

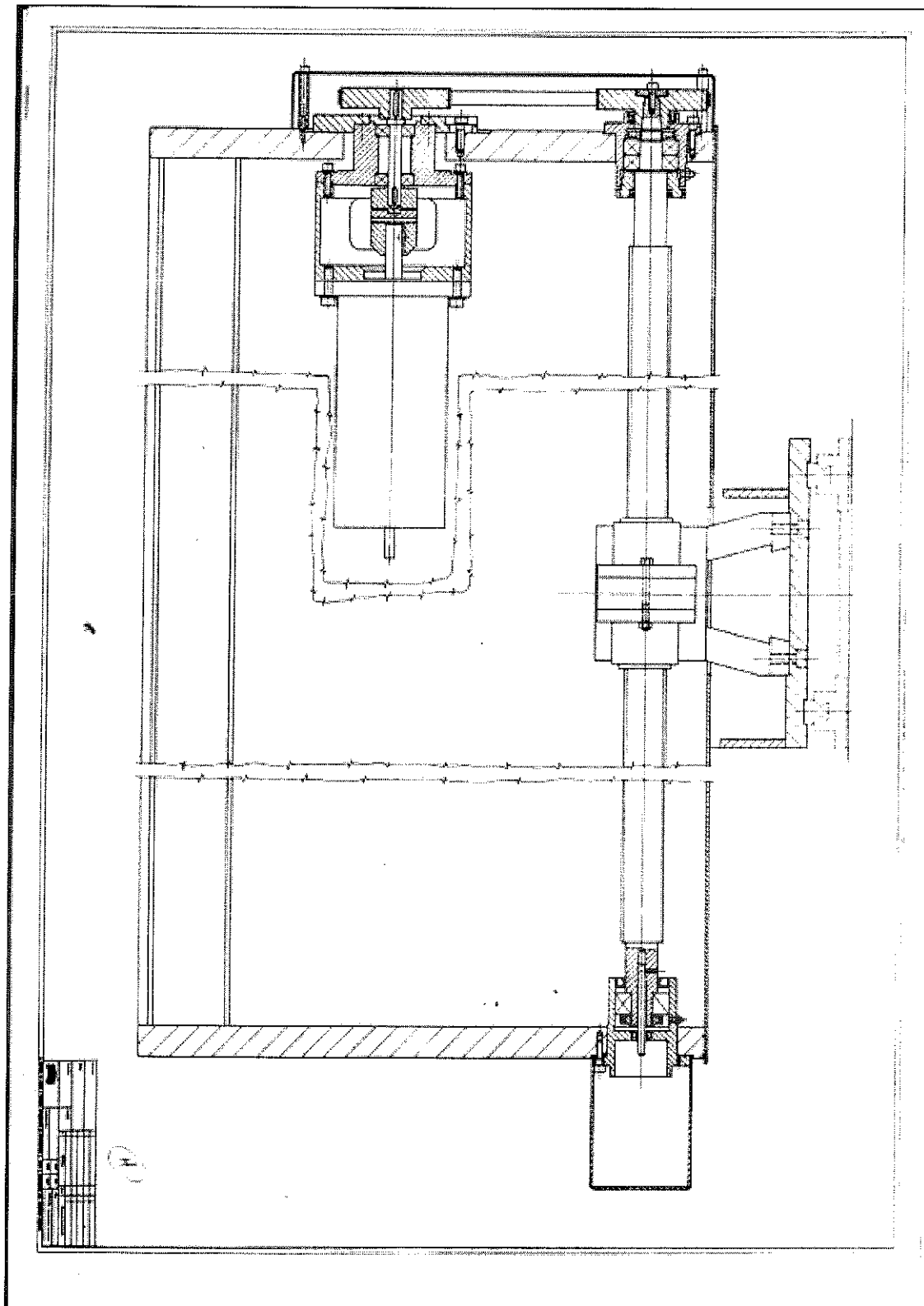


Figura 14. Modifica nella sezione verticale per l'applicazione del motore passo-passo.

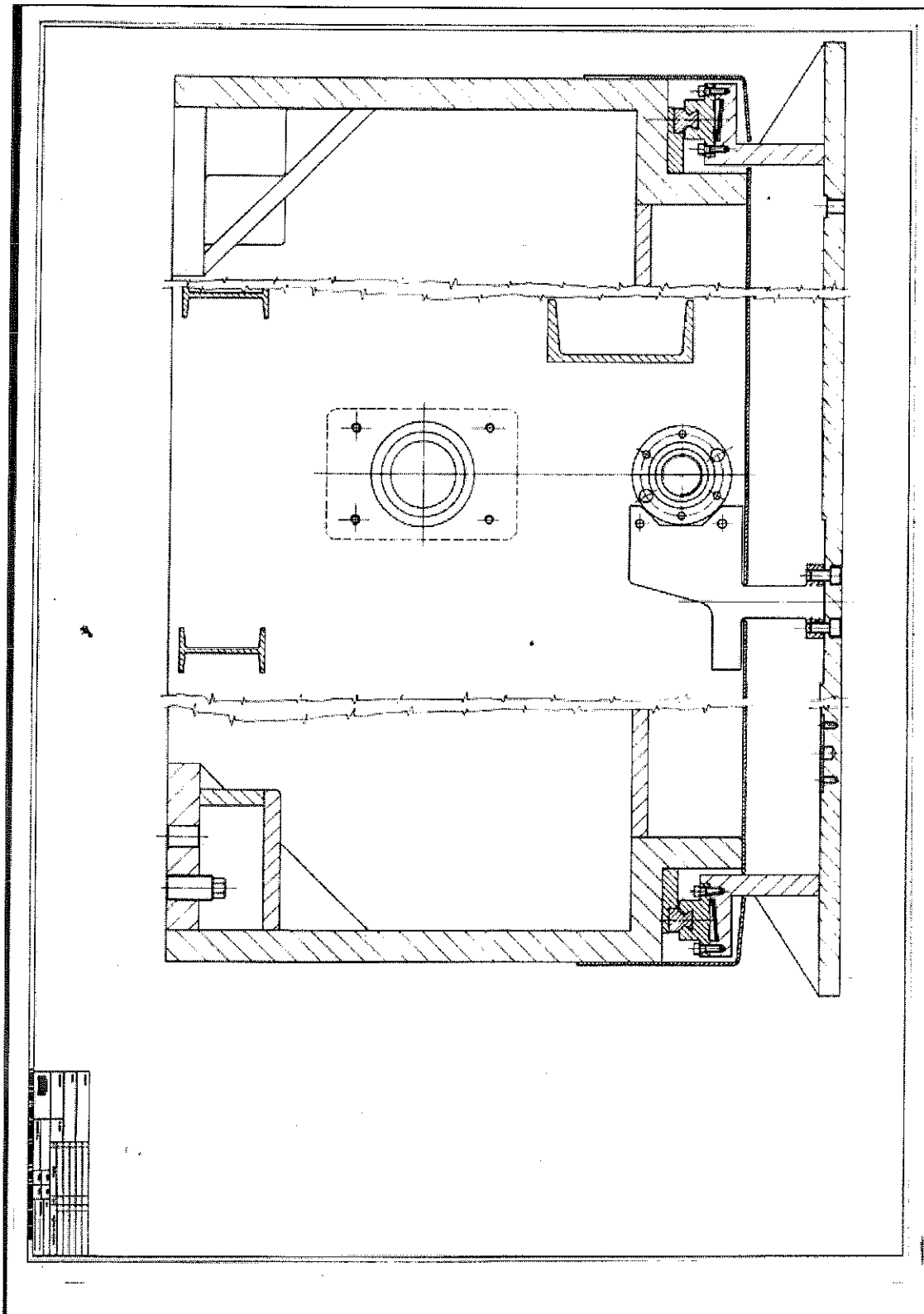


Figura 15. Modica del supporto porta-chiocciola dell'asse superiore.

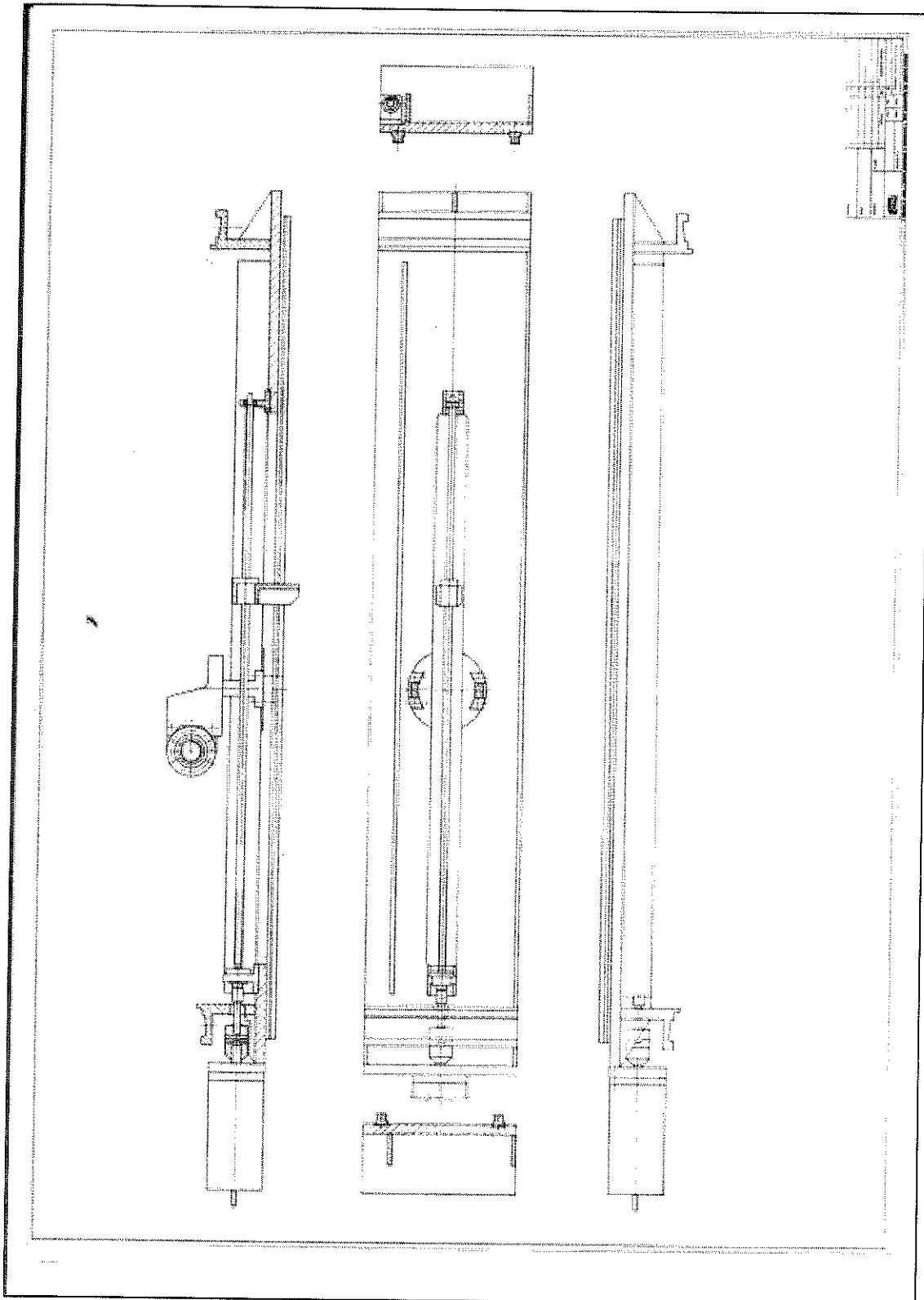


Figura 16. Motore passo-passo e vite di trascinamento.

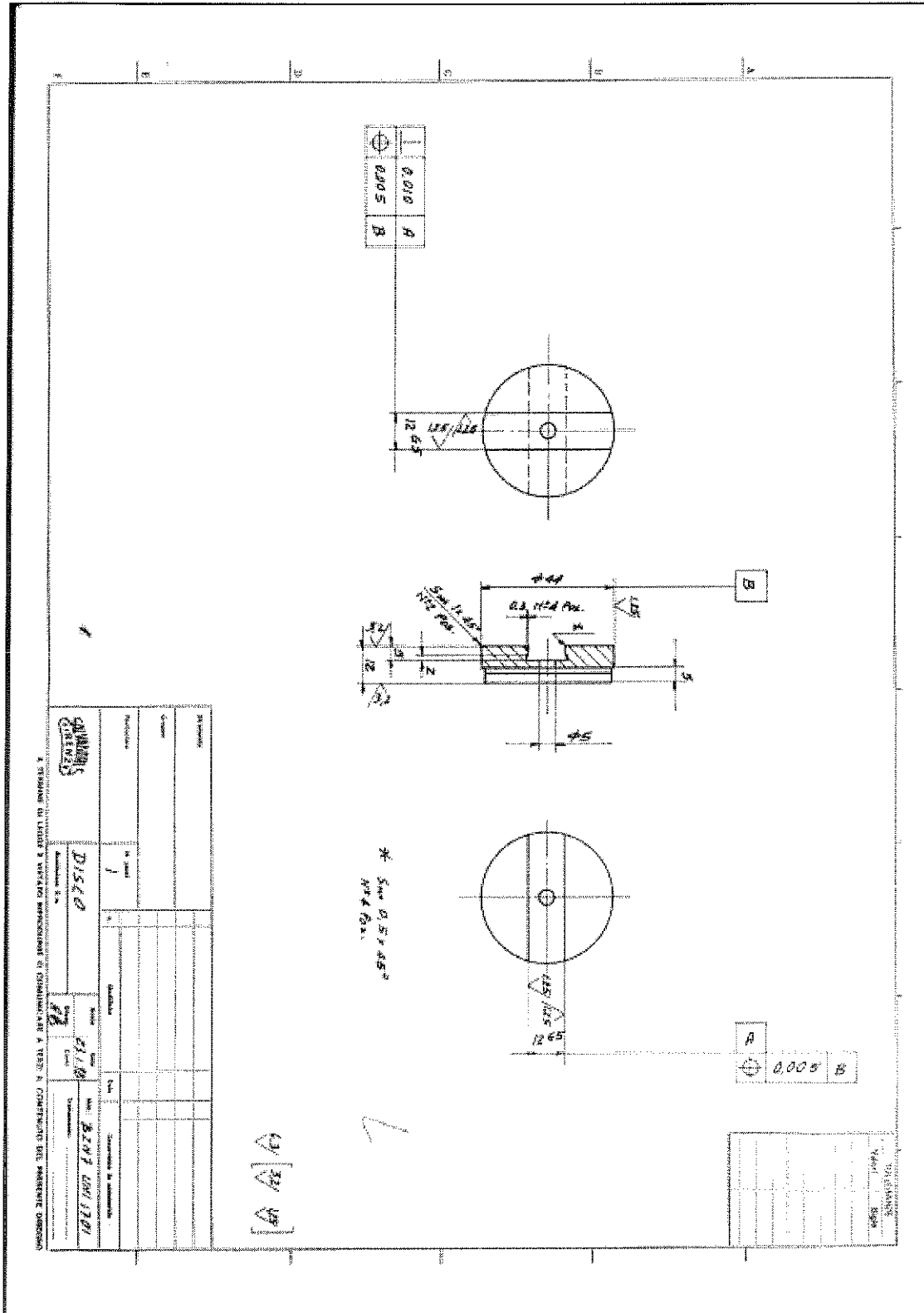


Figura 23. Particolare costruttivo.

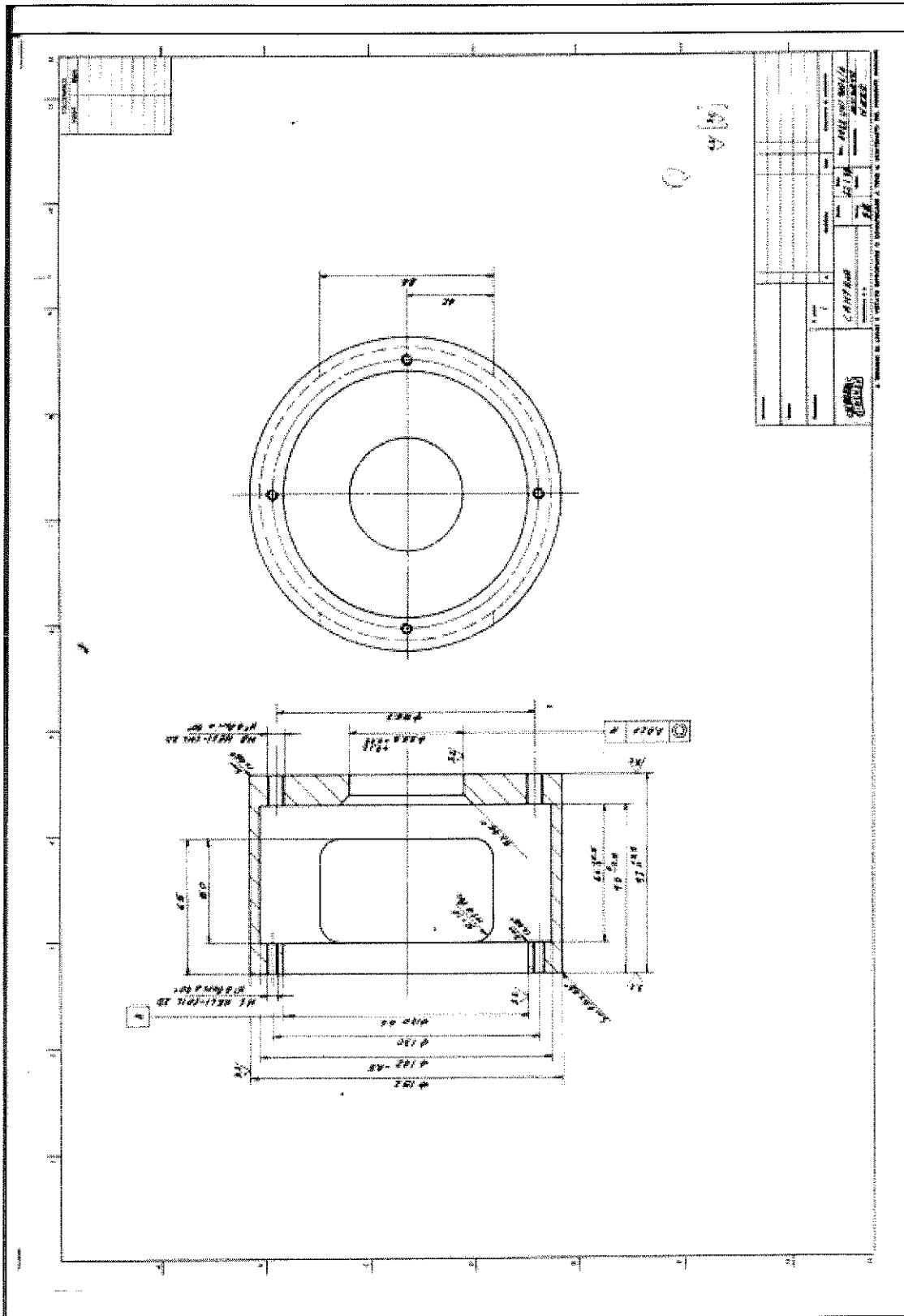


Figura 25. Particolare costruttivo.

Riferimenti

SA83-01

L. Azzarelli, M. Chimenti

"Relazione introduttiva di attività nel progetto ATIUS"

Contratto CNR-Aeritalia, Dic. 1983.

SA84-01

L. Azzarelli, B. Carbone, M. Chimenti

"Specifiche generali del prototipo ATIUS2"

Contratto CNR-Aeritalia, Set. 1984.

B4-15

L. Azzarelli, E. Bozzi, B. Carbone, S. Cerri, M. Chimenti, O. Salvetti, S. Cesaro

"Progetto del sistema ETIS per il controllo di qualità ad ultrasuoni"

IEI, Nota interna, Feb. 1986.

B4-04

M. Chimenti, E. Bozzi, S. Cerri, M. Ballati

"Stazione ETIS per il controllo di qualità a ultrasuoni: manuale operativo"

IEI, Nota Tecnica, Feb. 1989.

B4-64

L. Azzarelli, E. Bozzi, M. Chimenti

"Progetto e sviluppo di una struttura per il CND ad ultrasuoni"

Contratto di Collaborazione Tecnico-Scientifica Aeritalia-GAT/IEI-CNR

IEI, Nota Interna, Dic. 1990.

B4-05

E. Bozzi, M. Chimenti

"Controllo del movimento del braccio meccanico del robot IRB 2000"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Aeritalia-GAT/IEI-CNR

IEI, Nota Tecnica, Feb. 1991.

B4-23

L. Azzarelli, E. Bozzi, M. Chimenti

"Valutazioni sperimentali del prototipo di stazione per il CND ad ultrasuoni e studio di fattibilità per versioni ottimizzate"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR

IEI, Nota Interna, Lug. 1991.

B4-17

E. Bozzi, M. Chimenti, L. Azzarelli

"Ispezione a soglia singola mediante prototipo di stazione US"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR

IEI, Nota Interna, Giu. 1992.

B4-26

E. Bozzi, M. Chimenti

"Progetto software 'Programmi di scansione e acquisizione US' "

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR

IEI, Nota Interna, Lug. 1992.

B4-38

E. Bozzi, M. Chimenti, L. Azzarelli

"Sviluppo di procedure per la scansione a ultrasuoni di superfici curve mediante robot a sei assi"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR
IEI, Nota Interna, Set. 1992.

B4-10

E. Bozzi, M. Chimenti

"Scansione a ultrasuoni di campioni poliedrici"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR
IEI, Nota Interna, Mag. 1993.

B4-19

L. Azzarelli, E. Bozzi, M. Chimenti, A. Marchetti, S. Minutoli

"Procedure di acquisizione mediante la stazione di lavoro per ispezione US"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR
IEI, Nota Interna, Giu. 1993.

B4-12

E. Bozzi, M. Chimenti

"Pacchetto software per l'ispezione a soglia singola e onda completa mediante stazione US"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR
IEI, Nota Interna, Mag. 1993.

B4-38

E. Bozzi, A. Marchetti, S. Minutoli, M. Chimenti, L. Azzarelli

"Ispezione a onda completa mediante prototipo di stazione US"

Collaborazione Tecnico-Scientifica Alenia-GAT/IEI-CNR
IEI, Nota Interna, Nov. 1993.

B4-22

L. Azzarelli, E. Bozzi, S. Cerri, M. Chimenti

"Stazione di lavoro per la scansione a ultrasuoni di campioni piani"

IEI, Nota Interna, Lug. 1994.



