

Consiglio Nazionale delle Ricerche



**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA

Automatic on line systems for detection, evaluation and mapping of defects and variation monitoring on finished fabrics

Processo di simulazione - metodologie di analisi

Progetto BRITE n° RI1B - 0243

L. Azzarelli, R. Bozzi, M. Chimenti, A. Marchetti

Nota Interna B4-24

Giugno 1990

"Automatic on line systems for detection, evaluation and mapping of defects and variation monitoring on finished fabrics"

Processo di simulazione - metodologie di analisi

Progetto BRITE n° RI1B - 0243

L. Azzarelli, R. Bozzi, M. Chimenti, A. Marchetti

1. Introduzione

In questa relazione vengono presentati alcuni risultati delle attività svolte dalla Unità Operativa dall'Istituto di Elaborazione della Informazione nell'ambito del Progetto Brite n° RI1B - 0243; tale progetto prevede lo studio e lo sviluppo di tecniche e metodologie elaborative per l'esecuzione del controllo automatico di qualità di prodotti tessili. Il controllo deve essere effettuato sia durante il tempo reale di produzione dei tessuti per l'individuazione e la valutazione dei difetti, sia in un tempo dilazionato per la loro analisi e classificazione. Questa verifica comporta l'esecuzione di un complesso processo elaborativo che comprende: l'acquisizione dei dati, il loro restauro dagli artefatti, distorsioni e degradazioni introdotte nella fase di acquisizione; la rivelazione delle malformazioni; l'analisi e la classificazione dei difetti eventualmente presenti.

In un precedente studio preliminare [1], sono stati presi in esame campioni di tessuto "denim" con i difetti più ricorrenti, e sono state effettuate valutazioni qualitative e quantitative al fine di individuare e valutare i problemi relativi alla rivelazione delle malformazioni. A seguito di sperimentazioni e misure, eseguite sia utilizzando immagini e modelli di simulazione dei tessuti e dei difetti sia immagini digitali acquisite dai campioni di stoffa, sono state individuate le caratteristiche e i principali parametri che direttamente o indirettamente possono condizionare l'efficienza e l'affidabilità del controllo di qualità.

Al fine di semplificare il processo di rivelazione e classificazione dei difetti, sono stati definiti i criteri generali di progetto delle componenti hardware e software che devono essere impiegate per l'acquisizione dei dati e per il loro indispensabile pretrattamento. Questi criteri generali sono stati valutati anche mediante simulazioni e sperimentazioni con le quali sono stati ricavati i fondamentali parametri caratteristici da utilizzare nel processo di acquisizione e sono state individuate alcune procedure elaborative necessarie per migliorare la qualità dei dati digitali ricavati dai tessuti. In particolare i parametri sono essenzialmente costituiti dalla frequenza di campionamento, dalla dinamica di quantizzazione, dalla risoluzione radiometrica, dalla velocità di scansione, dalle caratteristiche del sistema di illuminamento e dall'entità delle distorsioni e del rumore accettabili nei dati digitali da analizzare. Le procedure elaborative sono costituite da algoritmi e metodi necessari per la ricostruzione della qualità dei segnali ricavati.

I parametri e le procedure individuate sono stati impiegati in una nuova indagine conoscitiva eseguita sugli stessi campioni di tessuto presi in esame nel lavoro preliminare già citato al fine di: verificare la validità delle considerazioni e delle scelte effettuate; studiare e sviluppare, cercando di simulare le reali condizioni operative, specifici algoritmi di rivelazione e classificazione dei difetti; definire e sperimentare metodologie di indagine.

Nei capitoli seguenti vengono illustrate le metodologie di acquisizione impiegate, i risultati ottenuti e una classificazione dei difetti che individua sia i vincoli e i limiti di fattibilità del controllo di qualità sia le relative tecniche computazionali; vengono infine illustrati alcuni algoritmi di rivelazione che sono stati sperimentati su campioni di tessuto contenenti i vari tipi di difetti e presentata una prima casistica che mette in evidenza la reale efficienza e affidabilità dei metodi di analisi proposti.

Tab. 1 - Caratteristiche dei campioni a medio contrasto

Campione	Caratteristiche morfolog. e radiometr.		Valutazione di rivelazione	
	verso diritto	verso rovescio	verso diritto	verso rovescio
C6	continuo, verticale, basso contrasto, medio rumore	continuo, verticale, medio contrasto, elevato rumore	poco rivelabile, richiede filtraggi ottici e digitali	mediamente rivelabile, richiede preelazione per la riduzione del rumore
C8*	periodico, non connesso verticale, medio contrasto, medio rumore, pattern costante	variazione del pattern, basso contrasto, elevato rumore	rivelabile, filtraggi critici	poco rivelabile
C9*	aperiodico, orizzontale, buon contrasto, medio rumore, dimensioni variab.	aperiodico, orizzontale, basso contrasto, elevato rumore	rivelabile, condizionato dalle dimensioni	poco rivelabile
C11*	periodico, non connesso orizzontale, medio contrasto, dimensioni costanti, medio rumore	periodico, non connesso, basso contrasto, elevato rumore	rivelabile, richiede filtraggi spaziali	non rivelabile
C15*	aperiodico, orizzontale, di dimensioni variabili, buon contrasto, medio rumore,	aperiodico, di dimensioni variabili, medio contrasto, elevato rumore	ben rivelabile, richiede filtraggi spaziali	rivelabile
C16*	aperiodico, variabile o isolato, dimensioni variabili, medio contrasto, buon rumore	aperiodico, verticale, dimensioni variabili, basso contrasto, elevato rumore	modestamente rivelabile	non rivelabile
C18*	continuo, verticale, dimensioni variabili, basso contrasto, elevato rumore	continuo, verticale, dimensioni variabili, medio contrasto, medio rumore	modestamente rivelabile	poco rivelabile

Caratteristiche dei campioni a basso contrasto

C2*	aperiodico, verticale, basso contrasto, dimensioni variabili, medio rumore	aperiodico, verticale, basso contrasto, elevato rumore	modestamente rivelabile	non rivelabile
-----	--	--	-------------------------	----------------

C3*	aperiodico, orizzontale, basso contrasto, medio rumore	aperiodico, orizzontale, basso contrasto, elevato rumore	poco rivelabile, necessità di filtraggio	non rivelabile
C4*	isolato, macchia, basso contrasto, medio rumore	isolato, basso contrasto, elevato rumore	modestamente rivelabile, necessità espansione scala e filtraggio	poco rivelabile
C5	variazione pattern, orizzontale, contrasto molto basso, medio rumore	variazione pattern orizzontale, elevato rumore	non rivelabile	non rivelabile
C7	variazione pattern, verticale, contrasto molto basso, difetto continuo	variazione pattern, verticale, contrasto contenuto, elevato rumore	molto poco rivelabile	non rivelabile
C10*	variazione pattern, periodico, contrasto molto basso, elevato rumore	variazione pattern, periodico, medio contrasto, elevato rumore	poco rivelabile, necessità filtri monodimensionali	modestamente rivelabile, richiede filtri monodimensionali
C11b	variazione pattern, orizzontale, contrasto molto basso, medio rumore	variazione pattern, orizzontale, medio contrasto, elevato rumore	poco rivelabile	modestamente rivelabile
C12	variazione pattern, orizzontale, contrasto molto basso	variazione pattern, orizzontale, contrasto molto basso, elevato rumore	non rivelabile	non rivelabile
C13*	aperiodico, verticale, basso contrasto, medio rumore	aperiodico, verticale, basso contrasto, elevato rumore	modestamente rivelabile, richiede filtri	non rivelabile
C14*	periodico, orizzontale, non connesso, basso contrasto, medio rumore	periodico, orizzontale, contrasto molto basso, elevato rumore	modestamente rivelabile	non rivelabile
C17	orizzontale, variazioni generali nell'aspetto, contrasto nullo, elevato rumore	orizzontale, variazioni del colore medio, contrasto molto basso, elevato rumore	non rivelabile	non rivelabile

2. Materiali e strumentazione

I materiali utilizzati per le prove sperimentali sono costituiti dai campioni di tessuto "denim" elencati nella tabella 1 secondo una classificazione dipendente dalla struttura delle stoffe, dalla tipologia e morfologia dei difetti e dalle loro caratteristiche radiometriche ricavate mediante misure e valutazioni eseguite sui relativi dati digitali di acquisizione.

La figura 1 mostra in maniera schematica il sistema di elaborazione usato per la sperimentazione descritta nel presente rapporto. Il campione da esaminare è illuminato da una sorgente operante nel visibile e la luce riflessa dalla stoffa viene campionata e quantizzata mediante un dispositivo di acquisizione pilotato da un calcolatore di tipo personal. Il sensore optoelettronico lineare è orientato perpendicolarmente alla direzione di trascinamento della pezza.

Nel calcolatore risiedono i programmi per l'acquisizione dei dati e i programmi sviluppati per lo studio delle procedure di analisi. Le immagini acquisite o elaborate vengono rappresentate su un monitor di tipo pittorico e sono definite da matrici di 512x512 pixel e 256 livelli di grigio; i grafici derivati dalle immagini sono rappresentati su un monitor con la risoluzione di 640x420 elementi.

I campioni di tessuto sono stati digitalizzati secondo le condizioni indicate nella tabella 2 che emulano, sia pure su un'area di indagine ridotta e con velocità di scansione contenuta, quelle che potrebbero essere impiegate nelle procedure operative.

Parametri di acquisizione

Area di acquisizione del campione	186 • 150 cm ²
Frequenza di campionamento	$f_0 \cong 3$ camp./mm
Dimensione del pixel di uscita	0,36 • 0,36 mm ²
n° di elementi per riga di scansione	512
Dinamica di misura	2.5 decadi
Risoluzione di quantizzazione	256 livelli
Potenza della sorgente luminosa	150W ÷ 500W

Tabella 2

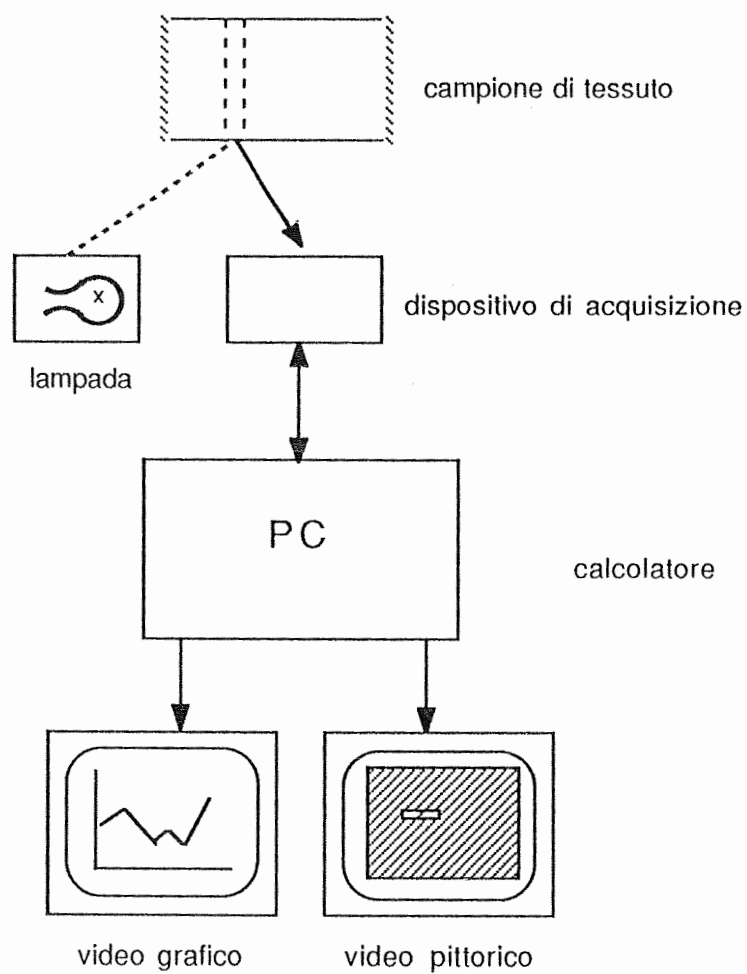


Fig. 1 - Sistema di elaborazione per lo sviluppo e simulazione degli algoritmi

Per l'acquisizione è stato utilizzato lo scanner MFA-150-LS in dotazione all'Istituto, le cui caratteristiche sono riportate nella nota bibliografica [2], adattandolo opportunamente per operare nelle condizioni sopra elencate.

Per l'illuminamento dei campioni sono stati sperimentati due diversi tipi di sorgente di luce al fine di confrontarne le caratteristiche di emissione e verificare la loro influenza nel processo di acquisizione e analisi dei dati; nel caso specifico si sono impiegati un proiettore a guida di luce e un proiettore a luce estesa.

Il primo è costituito da una lampada alogena puntiforme da 150W che, mediante una parabola riflettente, illumina un fascio di fibre ottiche con le quali il flusso luminoso viene guidato e distribuito omogeneamente in una finestra di uscita rettangolare; con questo tipo di proiettore si ottiene un ottimo disaccoppiamento termico e una ridotta distanza di lavoro con una conseguente ottimizzazione del rendimento di illuminamento. Le contenute dimensioni della finestra (3x300 mm) nonché il ridotto angolo di uscita del flusso luminoso ($\sim 60^\circ$) consentono inoltre un'alta concentrazione di luce e risparmio di potenza. Il secondo proiettore è costituito da una lampada alogena lineare da 750W e da un sistema ottico per la distribuzione del flusso su un'area estesa. Entrambi i dispositivi presentano caratteristiche di illuminamento e stabilità accettabili per la peculiare applicazione; le scelte dovranno quindi essere fatte seguendo fundamentalmente criteri di economicità, stabilità e praticità d'uso.

Nelle figure 2 e 3 sono mostrati gli schemi di principio dei due tipi di proiettori

Le figure di seguito riportate mostrano l'andamento delle distribuzioni della luce riflessa da una superficie diffondente illuminata con due tipi di proiettori sopra descritti; la fig. 4 si riferisce al proiettore a guida di luce mentre la fig. 5 è relativa al proiettore a luce estesa.

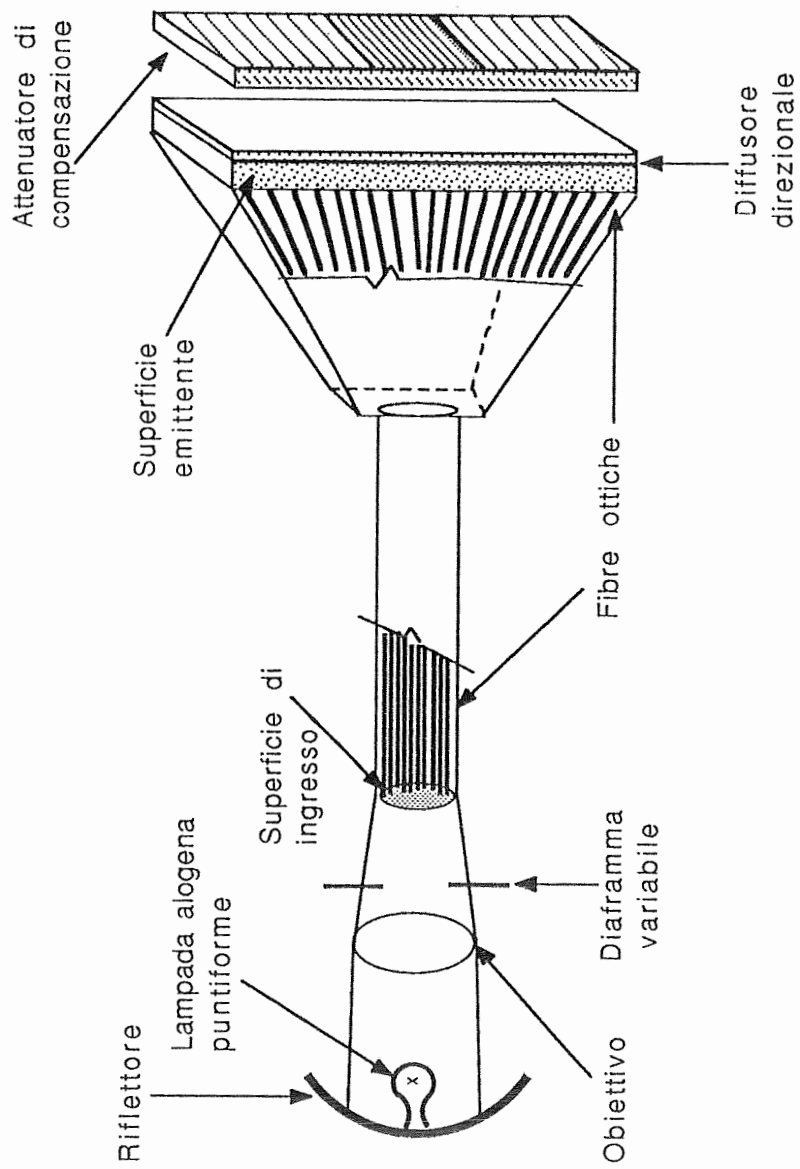


Fig. 2 - Schema di principio del proiettore a guida di luce

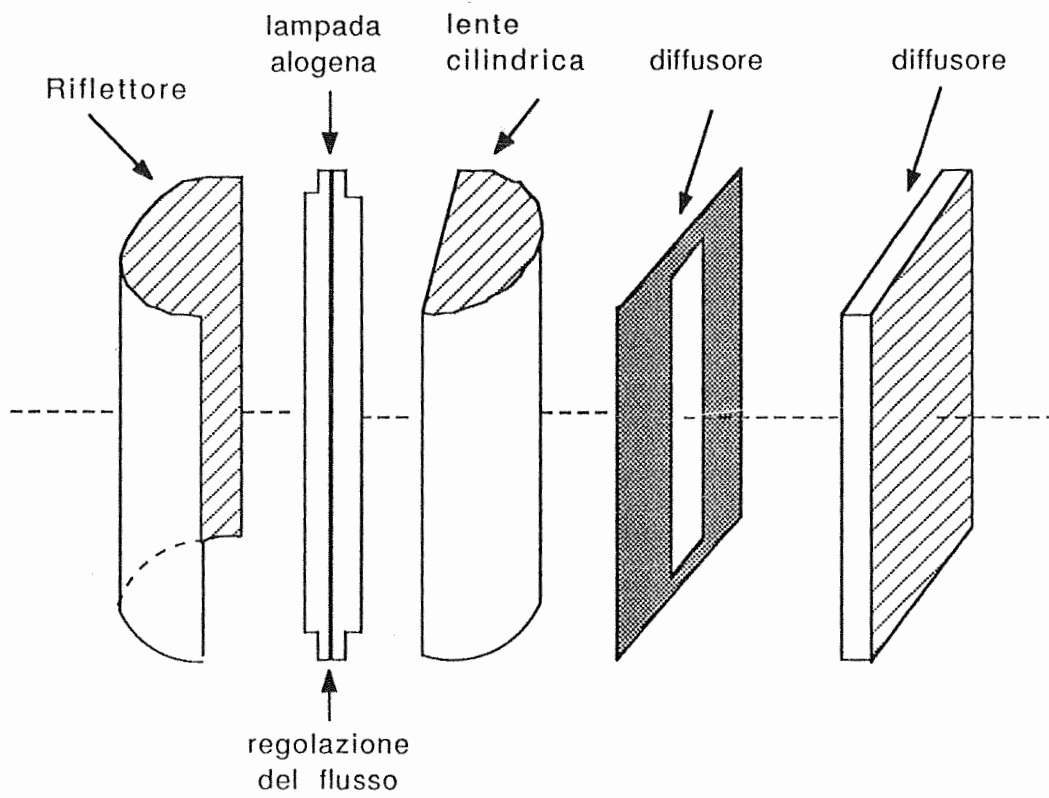


Fig. 3 - Schema di principio del proiettore a luce estesa

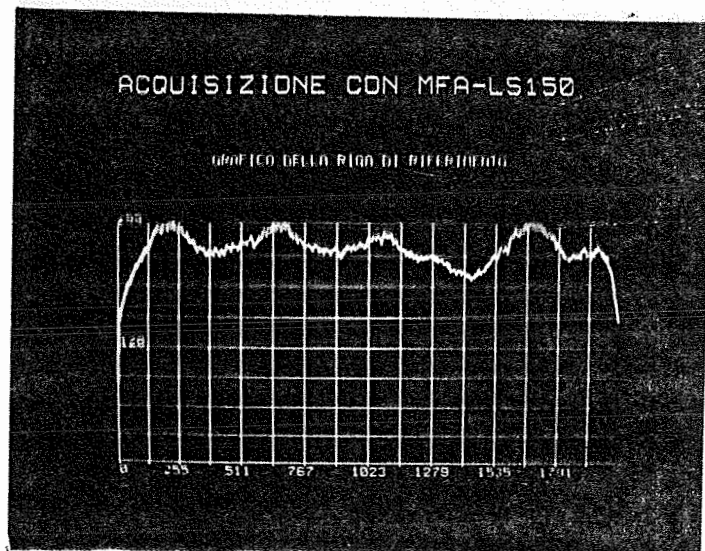


Fig. 4 - Proiettore a guida di luce: distribuzione della luce riflessa da un diffusore uniforme.

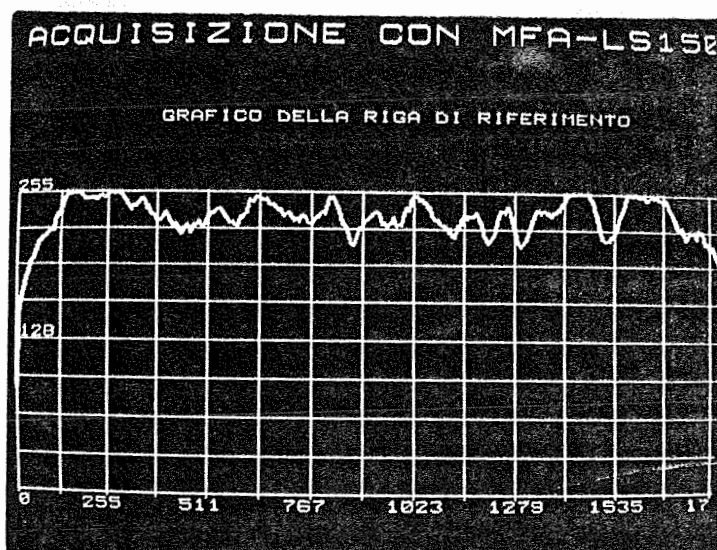


Fig. 5 - Proiettore a emissione estesa: distribuzione della luce riflessa da un diffusore uniforme.



Fig. 6 - Proiettore a guida di luce e compensatore: distribuzione della luce riflessa da un diffusore uniforme.

Il proiettore a luce estesa fornisce un illuminamento più omogeneo purchè sia posto ad un'opportuna distanza e la sua sorgente sia costituita da un'unica lampada; la resa luminosa, riferita all'area utile di illuminamento, risulta essere però evidentemente ridotta.

La caratteristica di illuminamento di un proiettore a guida di luce può essere comunque ulteriormente migliorata: infatti data la piccola dimensione trasversale della finestra di illuminamento, è possibile migliorare l'uniformità del flusso incidente sul campione in esame sovrapponendo alla finestra ottica di uscita del proiettore un filtro con zone a densità diversa in modo da compensare le differenze di intensità di emissione. Questo tipo di filtro può essere ricavato per via fotografica ma è rigidamente riferito sia alla specifica lampada usata sia al suo posizionamento nel sistema ottico di focalizzazione. Con questo tipo di compensazione, e con le limitazioni sopra citate, è possibile contenere la variazione di uniformità del flusso luminoso di uscita entro il 10% anche per proiettori dotati di fessure di uscita di media lunghezza (50 + 70 cm) per i quali è ancora possibile utilizzare un'unica lampada (v. fig. 6).

E' opportuno ricordare che a questo tipo di degradazione si sommano quelle introdotte dal sistema ottico e dal sensore: questa degradazione complessiva può essere contenuta entro il 20+30%, tuttavia tale valore risulta essere ancora eccessivo per cui è comunque necessario restaurare il segnale mediante opportune metodologie di preelaborazione; questo tipo di trattamento tende però a ridurre la dinamica di misura per cui è sempre opportuno minimizzare le singole distorsioni agendo direttamente sulle varie componenti del sistema.

Allo scopo di mettere in evidenza l'influenza della modulazione complessiva sul segnale di acquisizione, in fig. 7a è mostrata l'immagine digitale del campione C11 ottenuta senza correzione radiometrica: nella fig. 7b è mostrata la stessa immagine dopo la correzione dei dati; questa correzione è stata eseguita in tempo reale mediante il rapporto fra gli elementi delle righe di acquisizione e i corrispondenti elementi della riga di riferimento ricavata acquisendo il segnale luminoso riflesso da un diffusore uniforme.

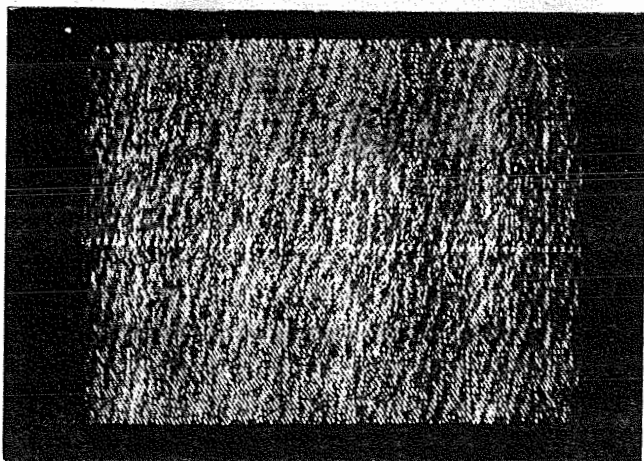


Fig. 7a
Campione C11: acquisizione senza
correzione radiometrica

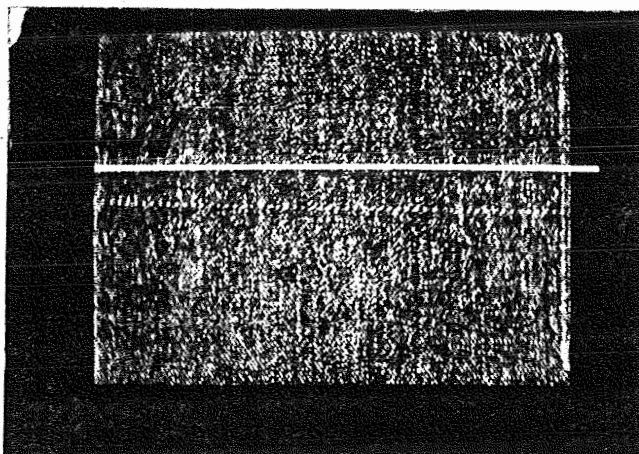


Fig. 7b
Campione C11: acquisizione con
correzione radiometrica

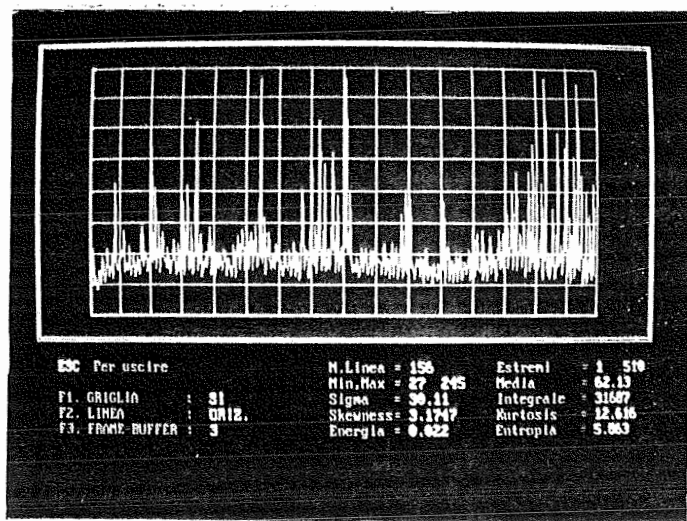


Fig. 7c
Distribuzione della riflettanza lungo
una linea di scansione dell'im-
magine di fig.7a

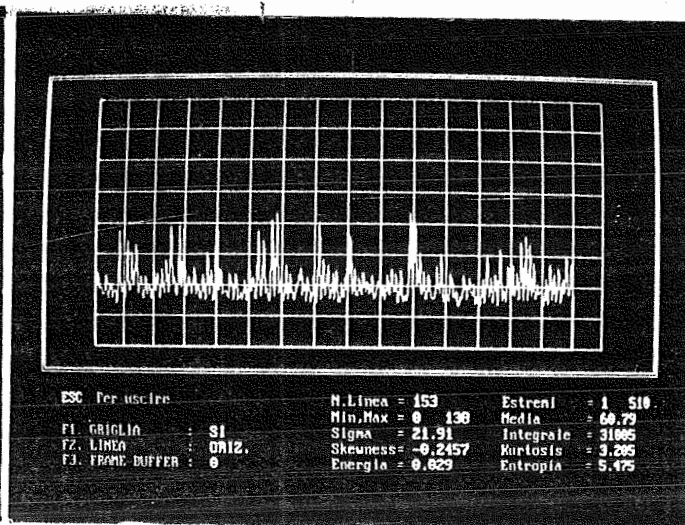


Fig. 7d
Distribuzione lungo una linea di
scansione dell'immagine di fig.7b

Nella fig. 7a si possono notare delle fasce di minore luminosità ortogonali alle righe di scansione dovute prevalentemente alla disuniformità del flusso luminoso incidente sul campione. Nelle figure 7c e 7d sono infine mostrati i grafici delle variazioni radiometriche del segnale ricavato da righe di acquisizione rilevate in zone senza difetti; nel grafico relativo all'immagine corretta (7c), il contrasto risulta essere più uniforme e quindi i difetti possono essere più facilmente rivelabili.

Di seguito vengono riportati alcuni significativi esempi di acquisizione che mettono in evidenza la notevole differenza del segnale di acquisizione dovuta, oltre che ai fattori di degradazione in precedenza citati, alla peculiare struttura dei tessuti nonché dei difetti eventualmente presenti.

Con riferimento alla tabella 1, sono stati scelti due campioni relativi alle due classi di difetti più ricorrenti: difetti periodici e aperiodici, caratterizzati da elevata riflettanza e medio contrasto; difetti aperiodici, continui o isolati, caratterizzati da bassa riflettanza e contrasto contenuto. Nella figura 8a è mostrata l'immagine digitale del campione C15 con un difetto di tipo aperiodico ad elevata riflettanza del tipo "fili volanti"; questa immagine è stata acquisita dal verso rovescio della stoffa e filtrata con un filtro di tipo passa-basso per ridurre l'entità del rumore. Nella figura 8b è rappresentato il grafico della variazione del segnale lungo una riga di scansione che interseca la zona del difetto; in questo grafico è osservabile sia l'entità del segnale relativo all'imperfezione sia il rumore residuo circostante. La figura 8c mostra, per un'analisi visiva più globale, lo stereogramma relativo all'immagine di fig. 8a sul quale risulta particolarmente evidente l'entità e la distribuzione spaziale del "rumore" dovuto fondamentalmente alla particolare tessitura diagonale della stoffa. Le figure 8d e 8e mostrano gli istogrammi di riga e i parametri caratteristici calcolati rispettivamente nella zona del difetto ed esternamente ad esso: può essere interessante osservare che la presenza del difetto contribuisce a modificare, anche se in modo piuttosto contenuto, la forma dell'istogramma, cosa questa messa invece bene in evidenza dai parametri sigma, kurtosis e skewness riportati nelle figure.

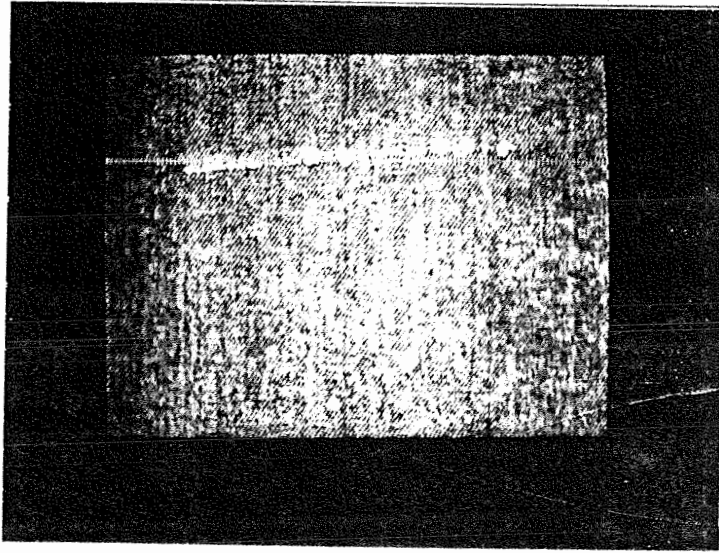


Fig. 8a - Campione C15:
acquisizione nel verso
rovescio del tessuto.

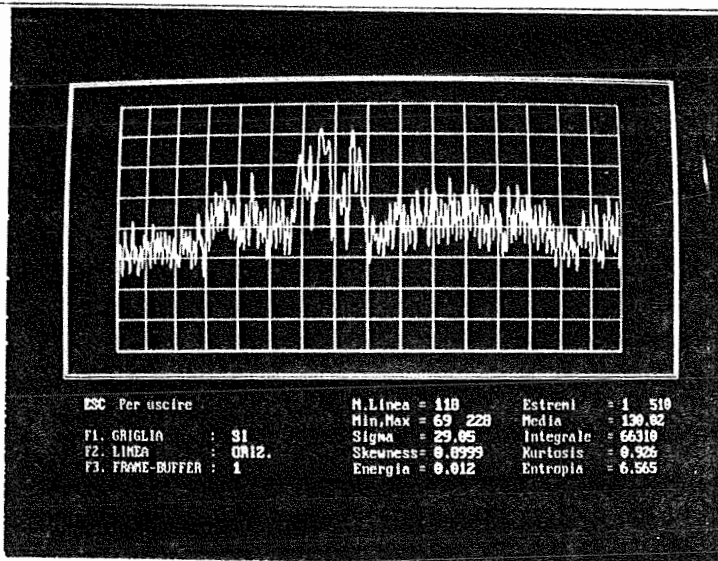


Fig. 8b - Campione C15:
grafico della variazione della
riflettanza lungo una riga di
scansione che interseca la
zona del difetto.

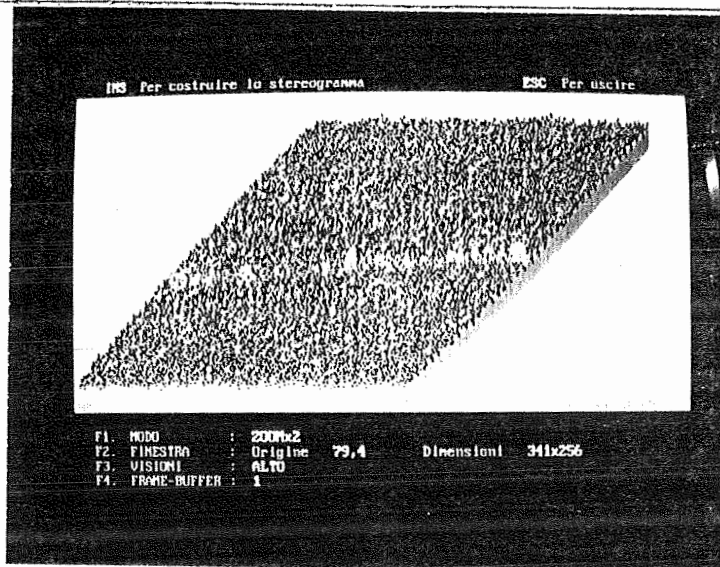


Fig. 8c - Campione C15:
stereogramma di una zona
del campione.

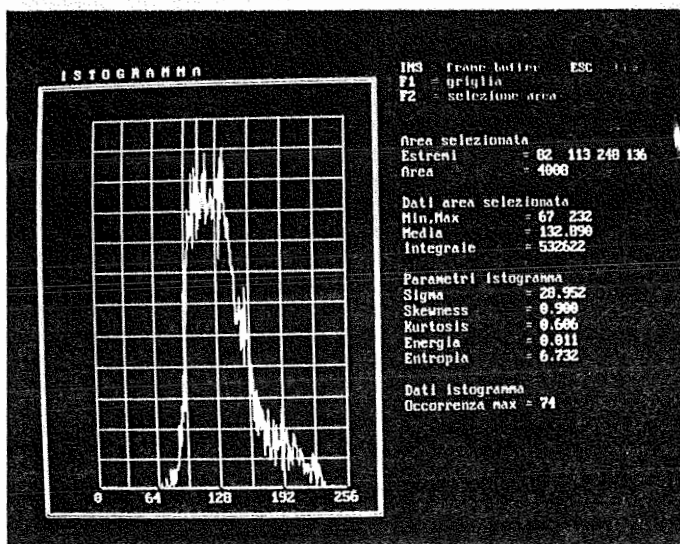


Fig. 8d

Campione C15: istogramma in un' area comprendente il difetto

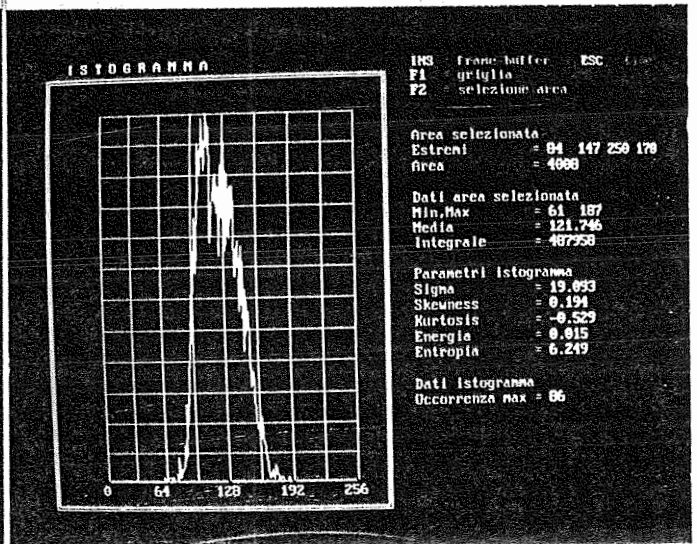


Fig. 8e

Campione C15: istogramma in un' area esterna al difetto

Le figure 9a, b, c, d, e sono relative al campione C14, con difetto a basso contrasto e media riflettanza del tipo "filo doppio in trama", e riportano nello stesso ordine informazioni analoghe a quelle dell'esempio precedente: in questo esempio si nota che il tessuto e il difetto hanno caratteristiche radiometriche tali da rendere più problematica la rivelazione delle malformazioni.

Nel rapporto tecnico "Indagine preliminare sulla qualità e distribuzione dei dati in campioni di tessuto denim" [3], è raccolta e descritta la completa documentazione relativa alla acquisizione e preanalisi di tutti i campioni elencati nella tabella 1; questa documentazione è servita come base di studio per la definizione delle metodologie elaborative e delle tecniche più efficienti di indagine.

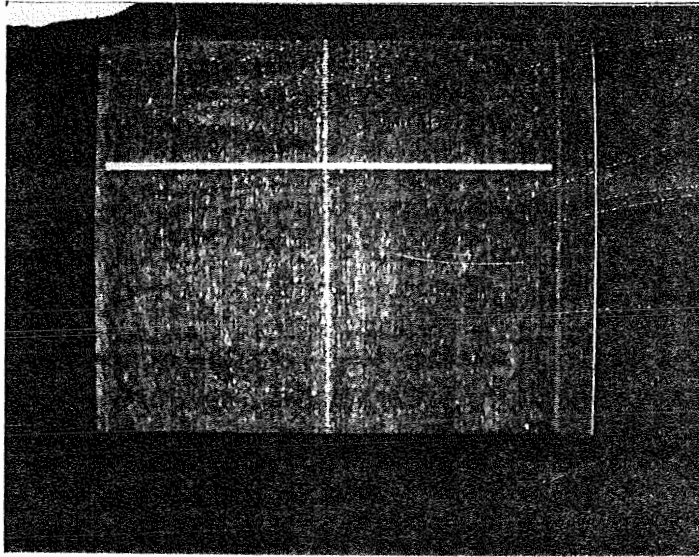


Fig. 9a - Campione C14: acquisizione nel verso diritto del tessuto.

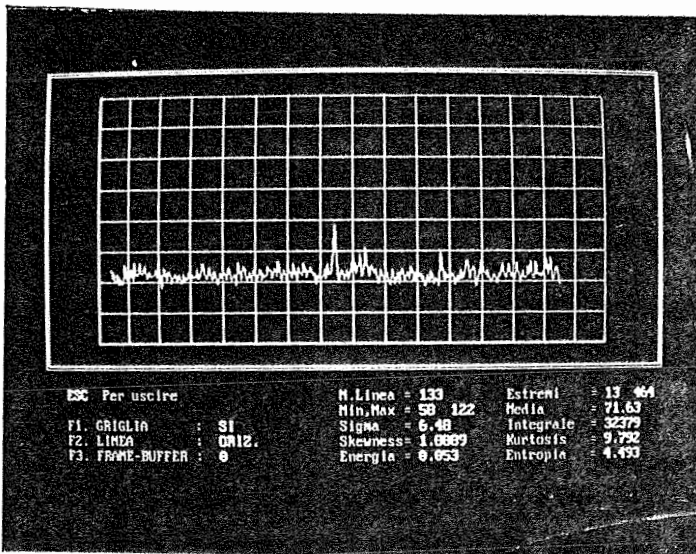


Fig. 9b - Campione C14: grafico della variazione della riflettanza lungo una riga di scansione che interseca la zona del difetto.

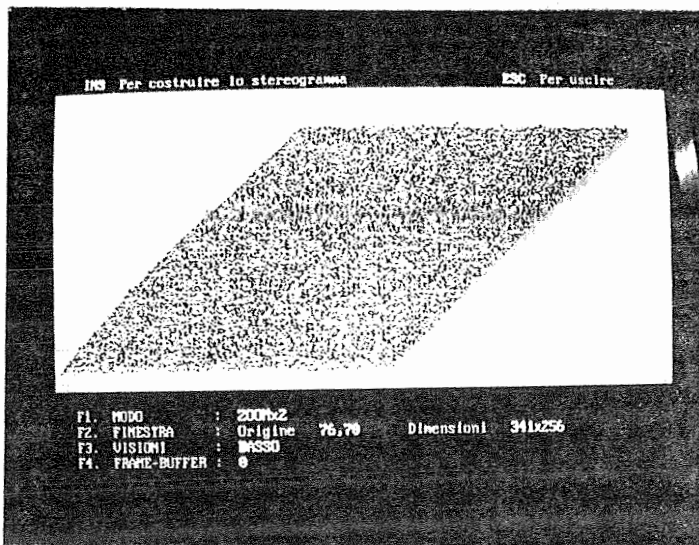


Fig. 9c - Campione C14: stereogramma di una zona del campione.

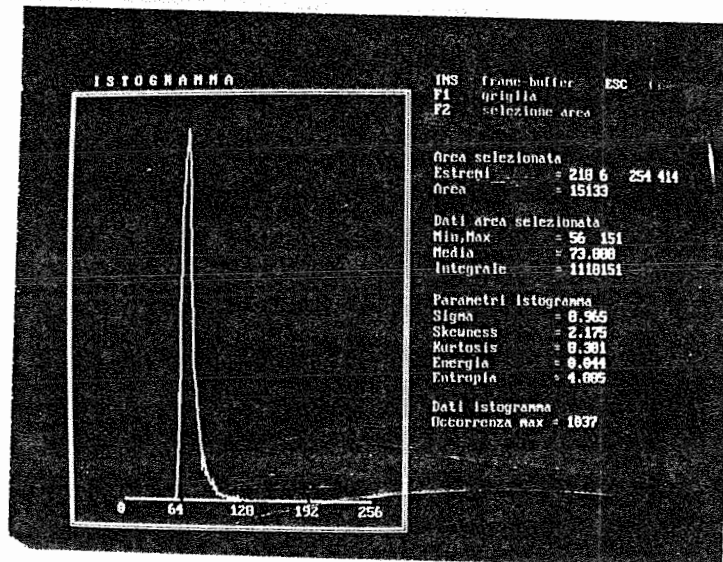


Fig. 9d - Campione C14: istogramma in un'area che comprende il difetto

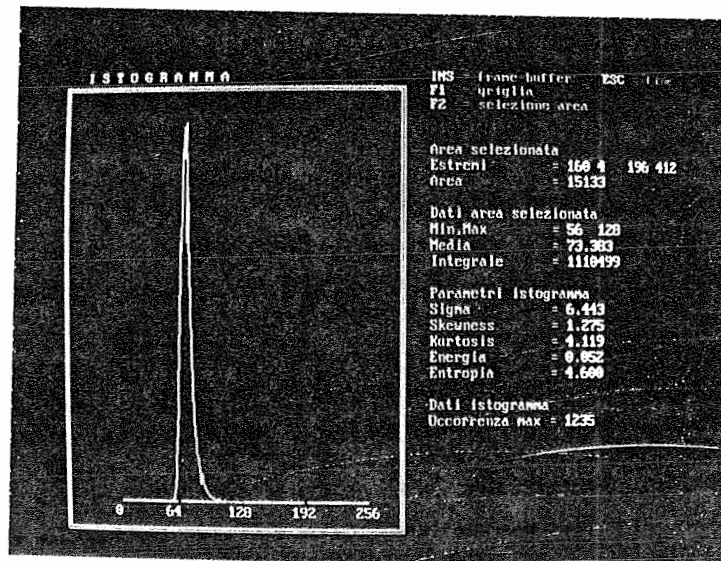


Fig. 9e - Campione C14: istogramma in un'area esterna al difetto

3. Metodologie generali di indagine

Le operazioni di preelaborazione accennate nei capitoli precedenti sono finalizzate alla parziale ricostruzione del segnale di acquisizione in vario modo degradato; nonostante questi trattamenti numerici, il segnale è modulato da un rumore primario generato fundamentalmente dalla circuiteria elettronica e dalla conversione analogico-digitale.

A questa modulazione di disturbo si somma un "rumore" secondario, o improprio, di ampiezza molto maggiore del precedente, determinato dalla specifica tessitura della stoffa in esame. Questo "rumore" può avere ampiezza e frequenza molto variabili e molto spesso paragonabili a quelle del segnale utile relativo ai difetti da rivelare (nel caso ad esempio di difetti periodici e aperiodici dovuti ad errori di tessitura); di conseguenza può risultare difficile definire un filtro, di tipo analogico o digitale, valido per tutte le applicazioni.

In linea di principio, il problema può essere risolto prevedendo elaborazioni diversificate e specializzate per tipologie di tessuto e di difetti, questi ultimi possono però coesistere sulla stessa stoffa che deve essere esaminata in tempo reale, di conseguenza le elaborazioni sopra citate devono essere eseguite contemporaneamente.

La possibilità di eseguire elaborazioni parallele è indubbiamente suggestiva e attuabile con le moderne tecnologie e strutture informatiche, tuttavia è opportuno cercare di contenere il parallelismo elaborativo che comporta una maggiore complessità dell'architettura generale della stazione di lavoro. Al fine di individuare le condizioni necessarie per consentire questa limitazione, sono stati digitalizzati tutti i campioni e sono stati analizzati i dati digitali per definire classi relativamente omogenee di trattamento numerico. Questo esame ha consentito di individuare due possibili fasi di trattamento nelle quali può essere necessario ricorrere alla elaborazione parallela:

- fase di acquisizione, preelaborazione e trasmissione dei dati; in questo caso il parallelismo è reso necessario dalla esigenza di eseguire l'acquisizione e l'indagine contemporaneamente sui due versi del

tessuto dal momento che i vari tipi di difetti non sono sempre identificabili esaminando un unico verso della stoffa;

- fase di analisi dei dati e rivelazione dei difetti; in questo caso il parallelismo è reso necessario dalle diverse metodiche e processi elaborativi resi necessari dalla variabilità delle caratteristiche spaziali, radiometriche e morfologiche dei difetti e dei tessuti.

Entrambe le fasi di trattamento possono quindi richiedere l'esecuzione di più elaborazioni parallele: in particolare, se è richiesto di eseguire il controllo contemporaneo di tutti i difetti, si può verificare la necessità di eseguire tante elaborazioni parallele quanti sono i tipi di tessuto e/o di imperfezioni. Tuttavia sembra possibile suddividere i difetti in tre classi principali sulla base delle loro caratteristiche morfologiche e radiometriche:

- difetti a medio contrasto, costituiti da punti chiari o scuri, di dimensioni dipendenti dal tipo di tessitura, su uno sfondo di tonalità media complementare; ad es. difetti di: "nodi in catena" e "fallo macchina" (campioni C16, C11)
- difetti a basso contrasto, costituiti da zone, macchie e trame della stessa tonalità del fondo medio; ad es. difetti di: "filo grosso in catena" e "strade" (campioni C2, C7)
- difetti isolati o periodici non connessi, costituiti da punti o piccole zone isolate chiare o scure riferite su sfondo della stessa tonalità o complementare; ad es. difetti di: "filo doppio in catena" e "macchie" (campioni C8, C4).

Questi ultimi difetti possono essere veramente isolati, e quindi dichiarati come malformazioni in relazione alle loro dimensioni e/o alle loro caratteristiche radiometriche, oppure essere costituiti da serie periodiche di piccoli difetti di tessitura apparentemente isolati. Una corretta catalogazione di quest'ultimo tipo di malformazione richiede quindi un'analisi protratta nello spazio, e quindi nel tempo, per eseguire le opportune verifiche e fornire precise indicazioni sul tipo di imperfezione.

Riassumendo, anche con questo tipo di semplificazione, la cui accettabilità è da verificare sperimentalmente esaminando le diverse

classi di difetti, potrebbe essere richiesto un parallelismo ancora troppo spinto. Allo stato attuale delle conoscenze sulla tipologia dei difetti, sulla loro frequenza di ripetizione e influenza sul processo produttivo, si possono ipotizzare due livelli di parallelismo nella fase di acquisizione per l'esplorazione sui due versi del tessuto ed almeno sei livelli nella fase di analisi dei dati e rivelazione dei difetti: tre per l'indagine nel verso diritto e tre per l'indagine nel verso rovescio della stoffa. Bisogna anche considerare che le varie elaborazioni condotte parallelamente possono richiedere una mutua interazione (ad esempio per la reciproca convalida di una corretta rivelazione); ciò può complicare sia la struttura elaborativa, sia lo sviluppo degli algoritmi: in fig. 10 è mostrato lo schema di una ipotetica struttura che prevede l'elaborazione parallela nelle due fasi operative indicate in precedenza.

E' quindi opportuno valutare attentamente, mediante un'accurata analisi dei costi, dei benefici e delle necessità operative, la possibilità di ridurre i vincoli e le richieste imposti nel progetto iniziale, ad esempio limitando i tipi dei difetti da rivelare, in particolare quando questi sono individuabili soltanto nel verso rovescio.

Se ciò fosse possibile, il parallelismo eventualmente richiesto potrebbe essere limitato a due o tre livelli da attuarsi esclusivamente durante il processo di analisi, conseguentemente la struttura elaborativa risulterebbe semplificata ottenendo migliori caratteristiche di affidabilità, velocità di elaborazione, semplicità d'uso ed economicità (v. fig. 11).

Il parallelismo di cui si è dato cenno, è relativo alla necessità di eseguire contemporaneamente algoritmi diversi; è tuttavia opportuno ricordare che il vincolo di velocità imposto dal processo produttivo potrebbe richiedere anche l'esecuzione di processi elaborativi paralleli anche per l'esecuzione di un'unico algoritmo, ciò comporta un'analisi attenta che però può essere eseguita soltanto dopo aver definito gli aspetti generali e le necessità finali.

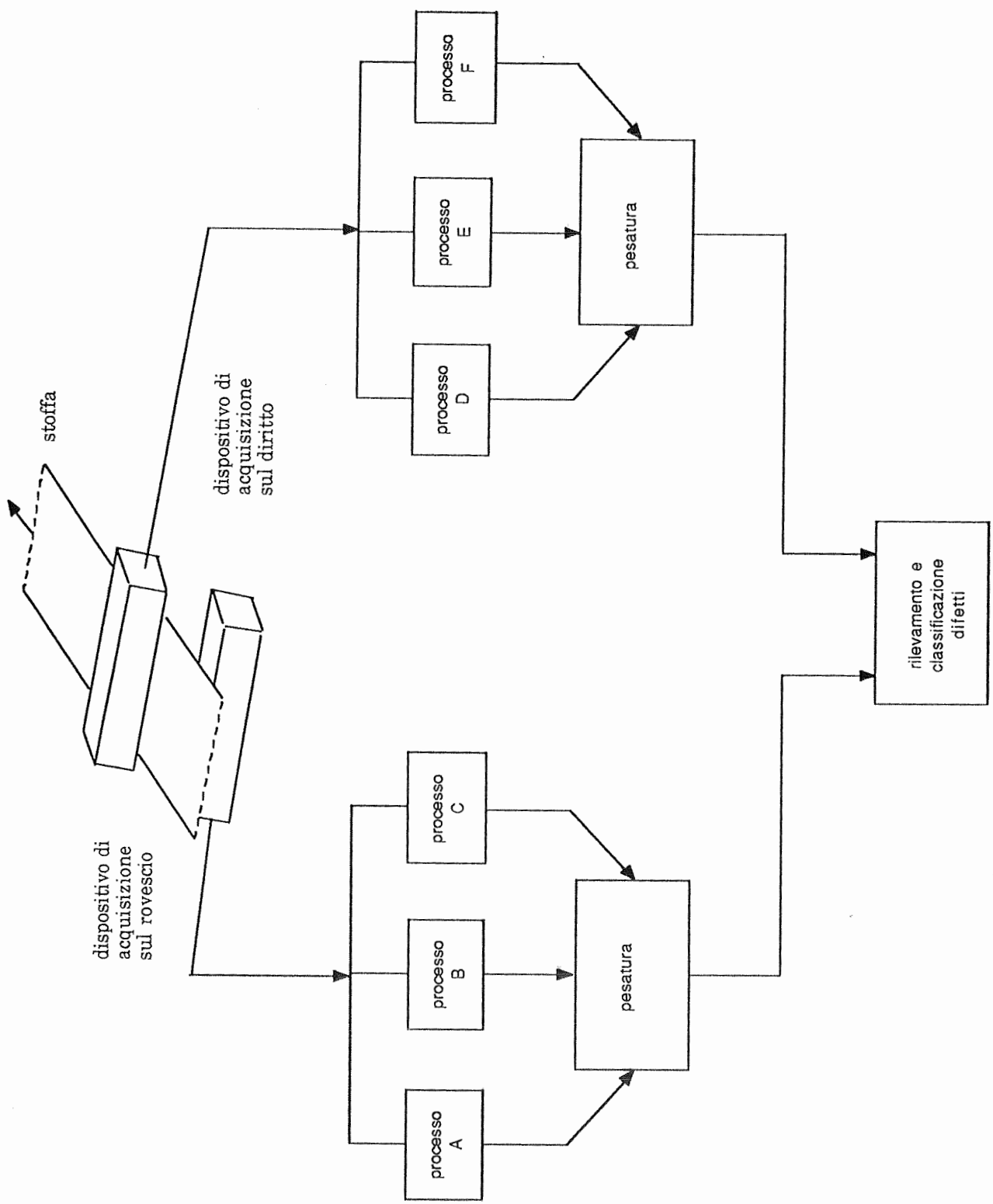


Fig. 10 - Schema del processo parallelo di acquisizione e analisi

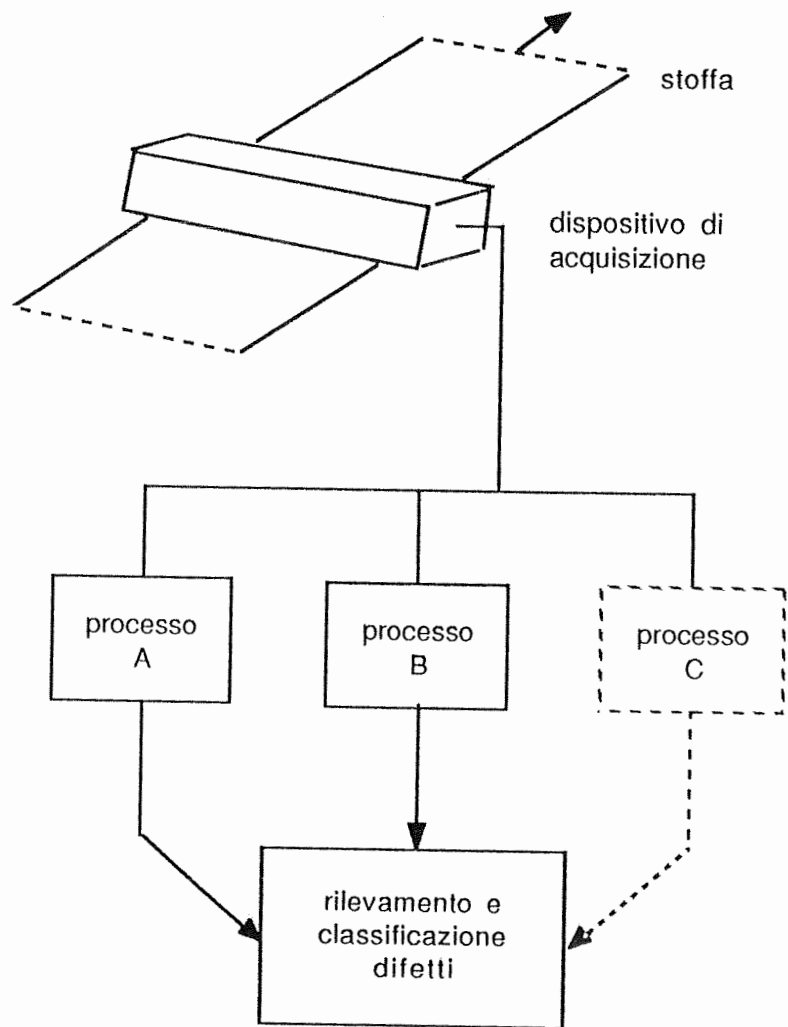


Fig. 11 - Schema del processo di acquisizione e analisi con parallelismo elaborativo ridotto

3.1 Metodologie di analisi

Le esigenze di produzione impongono vincoli di velocità che non consentono in genere il riconoscimento dei difetti mediante l'impiego di metodi analisi morfologica o di analisi delle tessiture, mentre sembra consigliabile l'impiego di metodologie di indagine di tipo statistico, che siano sufficientemente indipendenti dalla forma e dall'orientamento dei difetti e, in certa misura, dalle caratteristiche radiometriche.

Per verificare nello specifico contesto la validità di questa ipotesi, è stato sviluppato un pacchetto di programmi mediante i quali sono stati analizzati tutti i campioni a disposizione, cercando di ricavare le regole di variabilità di una serie di parametri fisici e statistici: i primi sono fondamentalmente costituiti dal valore del contrasto, dall'ampiezza del segnale, dalla frequenza spaziale relativa alla dimensione e ripetizione dei difetti; i secondi sono costituiti dai valori ricavati dall'istogramma dell'immagine. Lo studio dei parametri di tipo statistico e fisico ricavati da diverse porzioni di un'immagine contenente un certo tipo di difetto e il confronto fra i parametri ottenuti da immagini relative a differenti imperfezioni, possono contribuire a definire gli algoritmi per un rilevamento automatico.

Nel corso della sperimentazione sono stati sviluppati i seguenti programmi che si sono dimostrati degli strumenti di indagine che, oltre ad affiancarsi validamente all'osservazione diretta dell'immagine acquisita, consentono di estrarre da questa dati e informazioni oggettive.

- 1) **Programma "Linea"**. Con questo programma l'operatore seleziona in modo interattivo una riga o una colonna dell'immagine acquisita e proiettata sullo schermo pittorico. Detta $L_{i,j}$ la matrice corrispondente all'immagine, con $0 \leq L \leq 255$, $0 \leq i,j \leq 511$ sul monitor grafico si ha la rappresentazione del grafico di L_i o L_j , a seconda della scelta fatta; il programma inoltre calcola e rappresenta i valori minimi e massimi del grafico, il valore del suo integrale e il suo valore medio.

2) **Programma "Histo"**. In questo caso l'operatore seleziona sull'immagine rappresentata una regione di interesse (ROI) di forma rettangolare e sul video grafico viene rappresentato l'istogramma $P(L)$ calcolato sulla ROI. Vengono inoltre calcolati:

- il valore medio
$$\bar{L} = \sum_{L=0}^{255} L P(L)$$

- la varianza
$$S^2 = \sum_{L=0}^{255} (L - \bar{L})^2 P(L)$$

- lo Skewness
$$SK = \frac{1}{S^3} \sum_{L=0}^{255} (L - \bar{L})^3 P(L)$$

- il Kurtosis
$$K = \frac{1}{S^4} \sum_{L=0}^{255} (L - \bar{L})^4 P(L) - 3$$

3) **Programma "Momenti"**. L'operatore seleziona una ROI sulla immagine e definisce il verso di scansione per righe o per colonne all'interno di essa; sul video grafico vengono rappresentati i grafici dei valori di kurtosis, skewness e deviazione standard relativi agli istogrammi $P(L_i)$ o $P(L_j)$ calcolati sulle righe o sulle colonne di scansione della ROI.

4) **Programma "Stereo"**. L'operatore seleziona una ROI e sul video grafico viene rappresentato il grafico 3D $L_{i,j}$ relativo ai pixel compresi all'interno della ROI.

5) **Programma "Histereo"**. L'operatore seleziona una ROI e sul video grafico viene rappresentato il grafico 3D di $P(L_i)$ o $P(L_j)$ calcolato sulle righe o sulle colonne di scansione delle ROI

Affinchè i valori dei parametri siano significativi, è necessario calcolarli su un numero sufficientemente grande di elementi appartenenti ad aree le cui dimensioni minime dipenderanno dalla forma e dimensione dei difetti.

Seguendo questi criteri i campioni sono stati analizzati esaminando le zone con e senza imperfezioni e sono state ricavate le corrispondenti variazioni dei valori radiometrici e dei momenti di kurtosis, skewness e varianza che tra i parametri statistici calcolati sembrano essere quelli più significativi per questa applicazione. In particolare i parametri sono stati calcolati all'interno di una sottomatrice predefinita analizzando separatamente gli istogrammi di riga, di colonna e di area. Si è così potuto notare che, a seconda della forma e della direzione di propagazione del difetto, la significatività dei parametri per il riconoscimento può risultare molto dipendente dalle modalità con cui sono stati calcolati: se una imperfezione è di tipo verticale risulta conveniente esaminarla con una scansione orizzontale, se invece il difetto è di tipo orizzontale è opportuno esaminarlo con una scansione verticale; se il difetto è di tipo isolato può talvolta essere più utile esaminarlo mediante una scansione di area.

Nelle pagine che seguono vengono riportati due esempi relativi a questo tipo di analisi eseguita su due campioni con difetti rispettivamente di tipo orizzontale e verticale caratterizzati da medio contrasto.

In figura 12a è rappresentata una porzione del campione C11 con difetto di tipo periodico non connesso; nella figura 12b è mostrato il grafico delle variazioni della riflettanza misurata lungo una riga di scansione che interseca la zona del difetto; nelle figure 12c e 12d sono riportati i grafici delle variazioni del kurtosis, skewness e varianza calcolati analizzando gli istogrammi relativi rispettivamente alle righe e alle colonne della sottomatrice della region di interesse (ROI) indicata nella figura 12a. Come si può notare, in corrispondenza delle righe o delle colonne che intersecano punti chiari che caratterizzano questo tipo di difetto, i tre parametri variano rapidamente formando dei picchi di segnale; in particolare questa variazione è più grande nei grafici di figura 12d relativa all'analisi lungo le colonne che, in questo esempio, risultano essere ortogonali alla direzione di propagazione del difetto.

Nella figura 12e sono mostrati infine i grafici delle variazioni degli stessi parametri calcolati con le stesse modalità in precedenza illustrate in una ROI priva di difetti.

Nelle figure 13a, b, c, d, e, sono mostrati i risultati relativi ad una indagine eseguita sul campione C15 con difetto aperiodico connesso del tipo "fili volanti" acquisito nel verso diritto del tessuto. Anche in questo esempio appare evidente che i valori dei parametri kurtosis, skewness e sigma caratterizzano in modo significativo le zone con difetti. In questo esempio è stato ricavato il grafico delle variazioni di riflettanza misurate lungo una riga di scansione che interseca la zona con malformazioni; dal grafico è possibile valutare il contrasto esistente fra le zone del difetto e quelle limitrofe. Dai grafici dei momenti (fig. 13c, d, e) si può notare che la loro capacità discriminatrice è maggiore di quella relativa all'esempio precedente, in particolare la varianza sembra essere particolarmente significativa. Nei casi più complessi talvolta il singolo parametro può non essere sufficientemente indicativo della presenza di un difetto; in questi casi può essere utile, assegnando adeguati pesi determinabili sperimentalmente, considerare più parametri opportunamente fra loro relazionati.

Vista la variabilità del particolare disegno del tessuto, può verificarsi il caso, anche frequente, di individuare come difetto "isolato" piccole pseudo malformazioni; è necessario quindi inserire un controllo in tempo reale sulla dimensione dell'artefatto rivelato e sulla sua eventuale connessione o ripetitività. Naturalmente il potere di discriminazione è influenzato dalle caratteristiche radiometriche dei difetti e del tessuto, per cui per determinare i suoi limiti di validità si è reso necessario eseguire una dettagliata indagine su tutti i campioni; i risultati sono stati raccolti ed illustrati nel rapporto tecnico "Indagine preliminare sulla qualità e distribuzione dei dati in campioni di tessuto denim" [3].

A titolo indicativo nella tabella 3 sono riportate le escursioni medie dei parametri caratteristici calcolati in ROI selezionate in zone con e senza difetti e definite nel verso diritto del tessuto (dal momento che il verso rovescio sembra prestarsi poco bene per un affidabile riconoscimento. Dalla tabella appare evidente che l'utilizzo di un metodo di indagine statistico può essere significativo almeno per il riconoscimento di difetti a medio contrasto individuabili nel verso diritto del tessuto e costituiti da punti, tratti o zone chiare rispetto al fondo medio di tonalità complementare.

Tab. 3 - Verso diritto del tessuto

Campione	Zona difettosa			Zona normale		
	Sigma	Skewness	Kurtosis	Sigma	Skewness	Kurtosis
C1	6.9	0.5	0.4	6.9	0.5	0.2
C2	6.8	0.5	0.6	6.0	0.8	0.9
C3	7.4	1.0	1.8	6.1	0.7	0.9
C4	7.4	0.8	1.5	6.5	1.0	1.3
C6	6.5	1.1	1.9	5.9	1.2	2.3
C7	5.7	0.8	1.0	5.8	0.8	1.5
C8	6.4	1.4	4.8	6.1	0.8	1.4
C9	10.3	4.1	27.5	6.3	0.5	0.5
C10	6.0	0.9	1.6	5.4	0.8	0.9
C11	7.5	1.3	4.9	6.7	0.6	0.7
C12	6.7	0.7	0.5	6.3	0.5	0.4
C13	6.5	1.7	8.4	5.1	0.7	0.7
C14	3.8	1.2	3.4	3.4	0.5	0.8
C15	13.6	5.1	34.8	4.3	0.6	0.7
C16	5.1	3.8	30.4	3.6	0.6	0.8
C17	6.5	1.1	1.9	6.4	1.1	2.1
C18	6.6	0.4	0.2	6.5	0.3	0.8

In grassetto sono rappresentati i valori dei parametri caratteristici che si discostano significativamente dalla norma definendo zone prive di difetti.

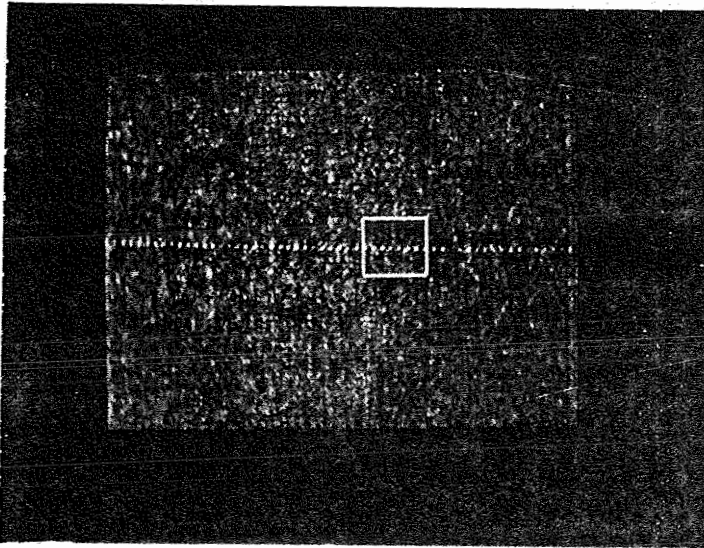


Fig. 12a - Campione C11:
difetto periodico.

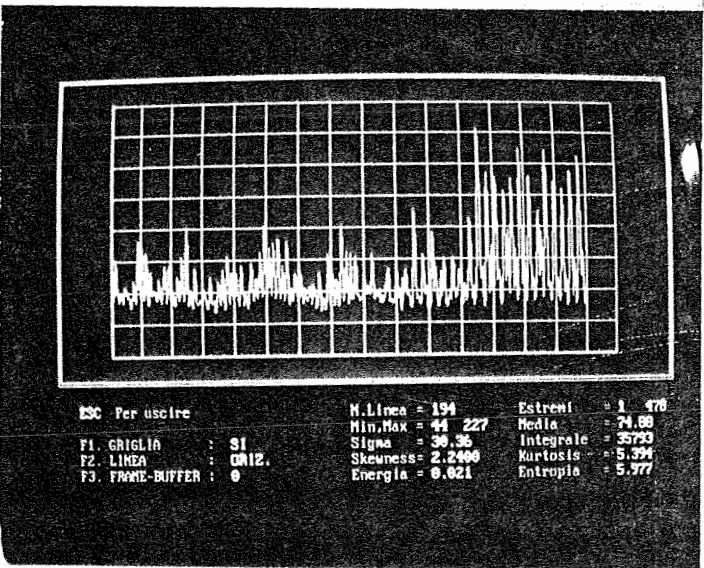


Fig. 12b - Campione C11:
grafico della variazione della
riflettanza nella zona di
imperfezione.

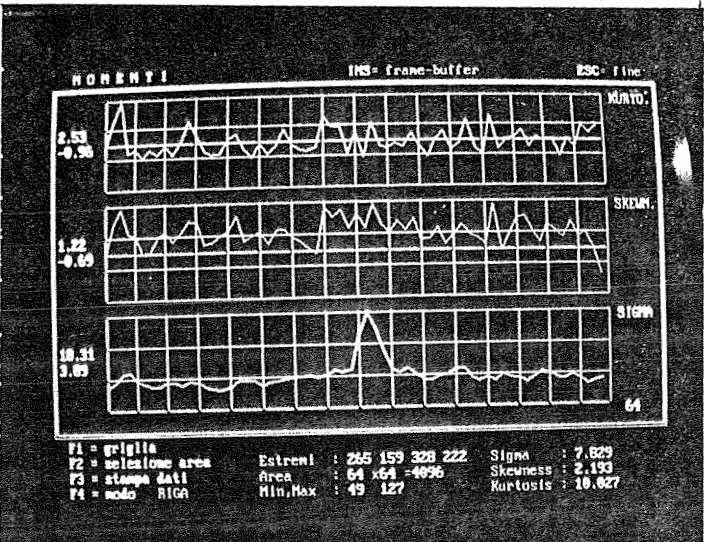


Fig. 12c - Campione C11:
grafici delle variazioni dei
momenti lungo le righe della
ROI di fig. 12a.

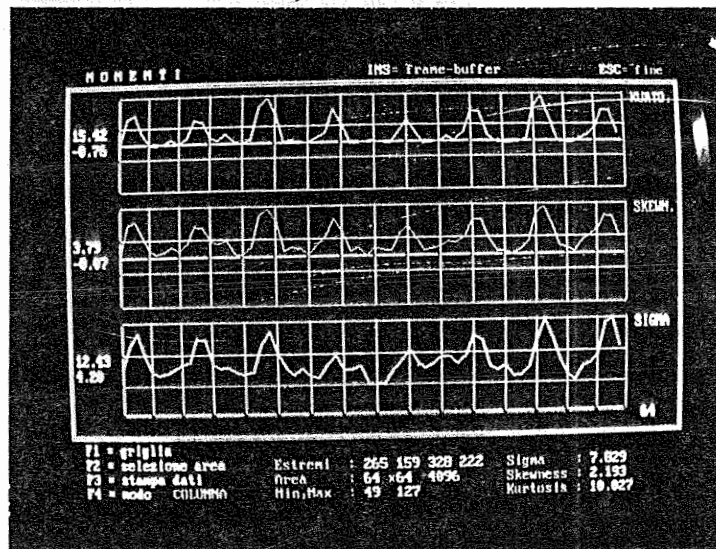


Fig. 12d - Campione C11: grafici delle variazioni dei momenti lungo le colonne della ROI di fig. 12a

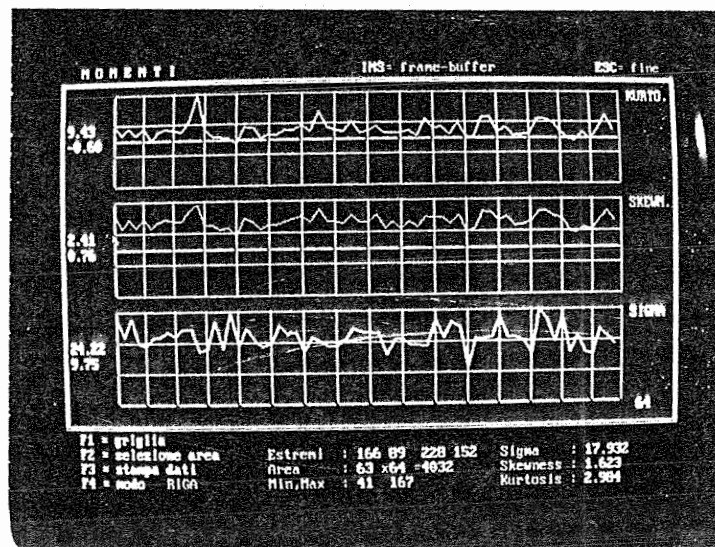


Fig. 12e - Campione C11: grafici delle variazioni dei momenti lungo le righe della ROI di fig. 12a

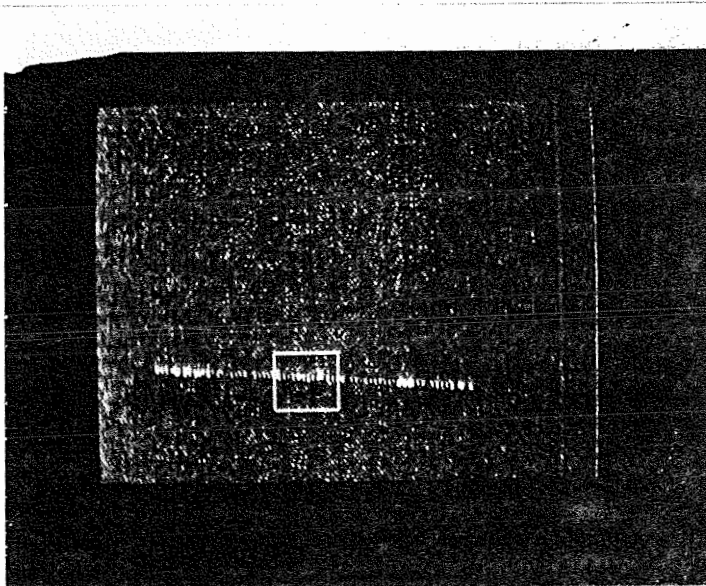


Fig. 13a - Campione C14: difetto periodico parzialmente connesso.

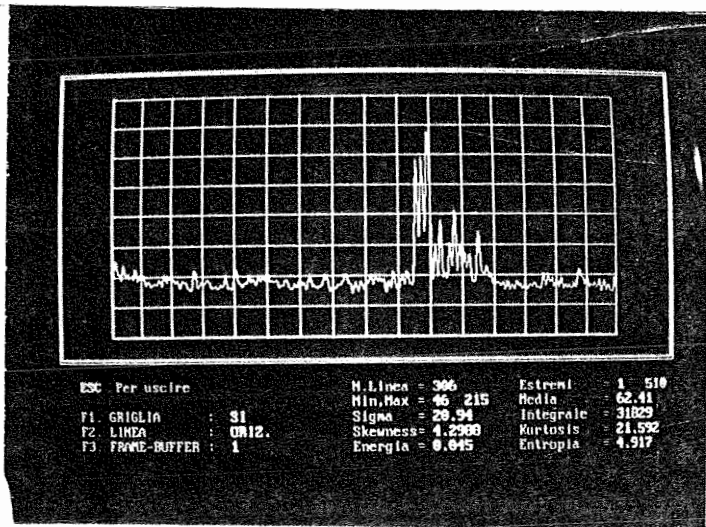


Fig. 13b - Campione C14: grafico della variazione di riflettanza ricavato nella zona di imperfezione.

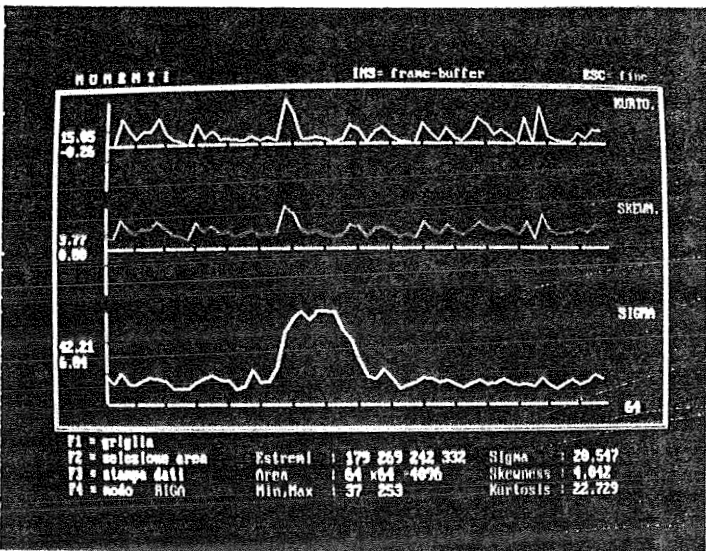


Fig. 13c - Campione C14: grafici delle variazioni dei parametri statistici lungo le righe della ROI indicate in fig. 13a.

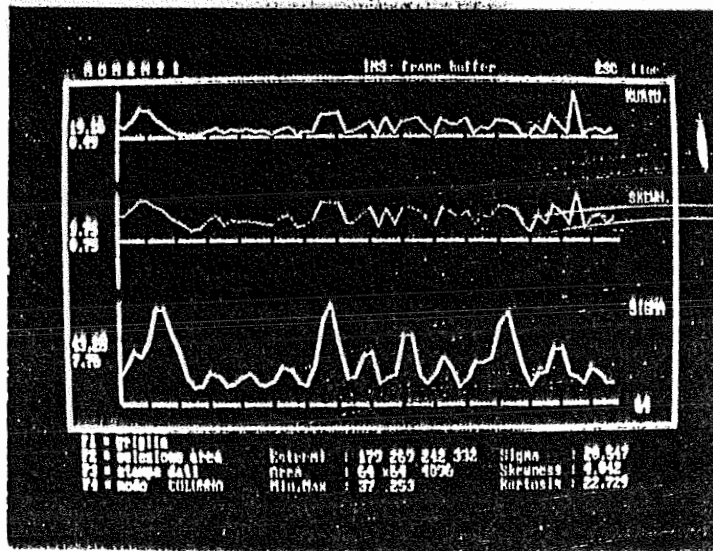


Fig. 13d - Campione C14: grafici delle variazioni dei parametri statistici calcolati lungo le colonne della ROI indicata in fig. 13a

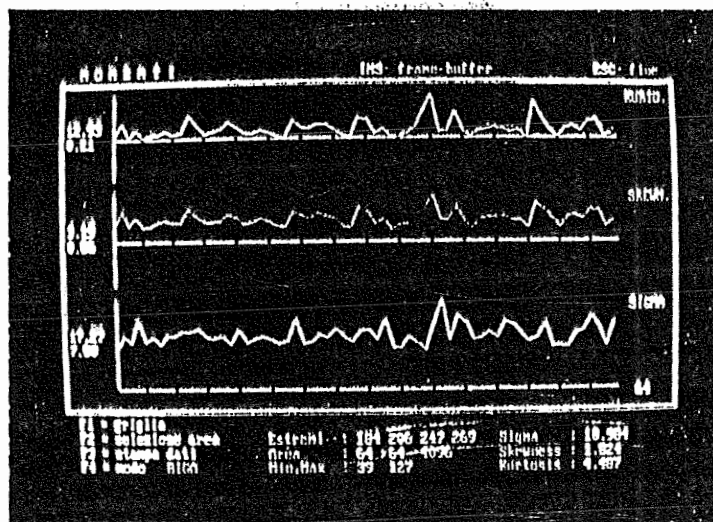


Fig. 13e - Campione C14: grafici delle variazioni dei parametri statistici calcolati in una ROI esterna alla zona del difetto

4. Procedura di rivelazione

Per studiare un processo di riconoscimento e classificazione automatica di difetto è stata studiata e sperimentata una prima procedura basata sulla misura e valutazione dei parametri statistici in precedenza citati.

La procedura consiste in due fasi:

a) Fase di apprendimento

L'immagine di riferimento, costituita da una matrice di 512 colonne • Q righe ricavata dall'acquisizione di una zona di tessuto privo di difetti, viene suddivisa in strisce di N_1 colonne • Q righe: in questa maniera all'interno di ciascuna striscia le variazioni a bassa frequenza del sistema di illuminamento e le distorsioni fotometriche dell'obiettivo di ripresa sono trascurabili se N_1 è sufficientemente piccolo.

Ciascuna striscia dell'immagine di riferimento viene suddivisa in ROI di N_1 colonne per R_1 righe (v. fig.14). In ciascuna ROI vengono calcolati il valore medio $M_{k,l}$, lo skewness $SK_{k,l}$, il kurtosis $K_{k,l}$, la deviazione $S_{k,l}$ e il numero T di pixel con valore di luminanza superiore a $M+\epsilon$

dove: $k =$ indice di striscia $k=1,2,\dots,K_0 = \frac{512}{N_1}$

$l =$ indice di ROI all'interno della k-esima striscia; $l=1,2,\dots,L_0 = \frac{Q}{R_1}$

$\epsilon =$ valore di soglia ricavato sperimentalmente e dipendente dalla struttura del tessuto.

Dall'insieme degli L_0 valori di ciascun parametro ricavati nella k-esima striscia si ricavano il valor medio e la corrispondente deviazione standard; ad esempio, dai valori medi $M_{k,l} \mid k = \text{cost}$ si ottiene:

$$\bar{M}_k = \frac{\sum_{l=1}^{L_0} M_{k,l}}{L_0}$$

I valori medi e le corrispondenti deviazioni standard dei parametri ricavati da ciascuna striscia vengono memorizzati in un vettore che verrà utilizzato come mezzo di confronto durante la successiva fase di analisi: l'affidabilità di questo processo è strettamente dipendente dalla corretta esecuzione della fase di apprendimento e dalla scelta della zona del tessuto sulla quale quest'ultimo deve essere eseguito.

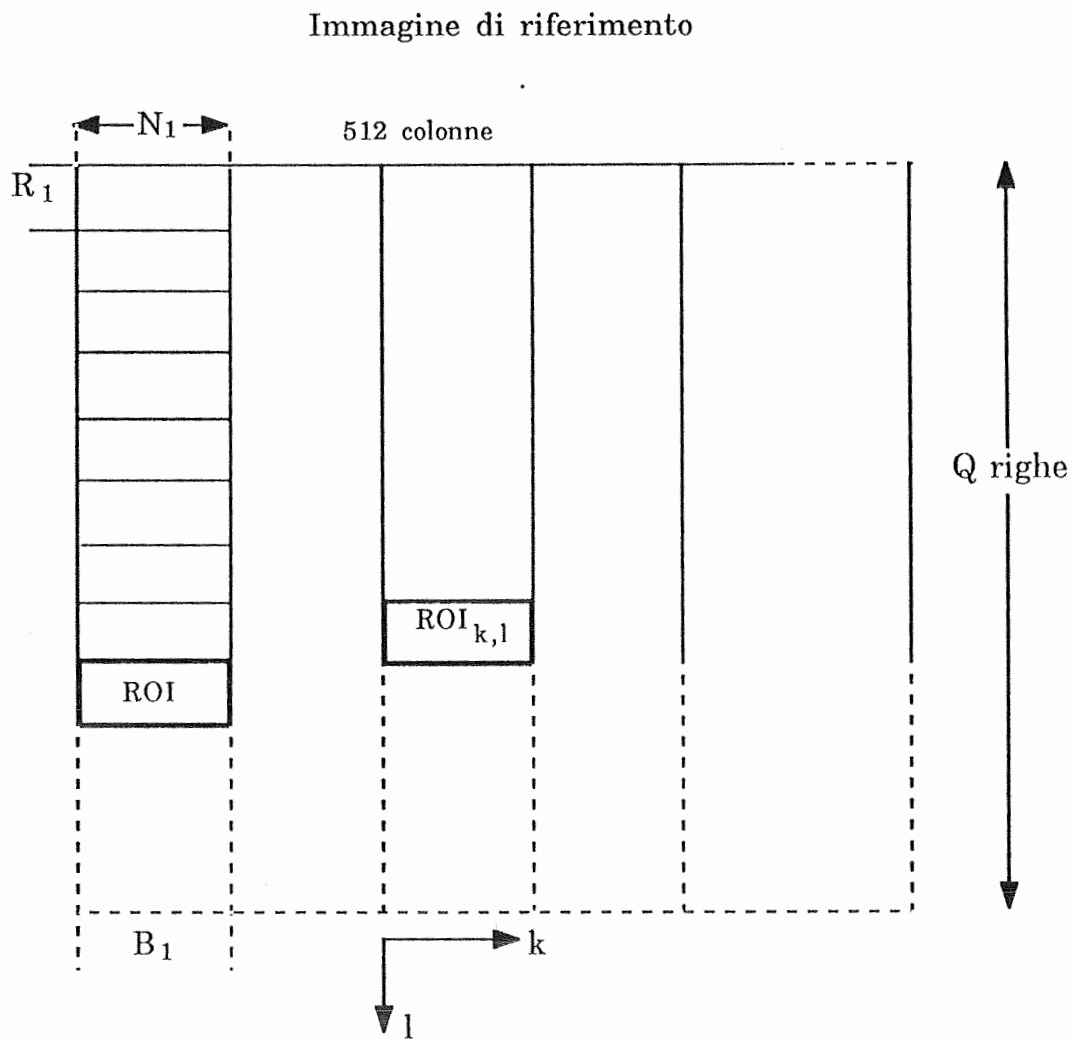


Fig. 14 - Costruzione del vettore di riferimento

b) Fase di analisi

L'immagine da esaminare, contenente eventuali difetti, viene suddivisa ancora in strisce e in ROI con dimensioni eguali a quelle determinate nella fase di apprendimento. Da ciascuna ROI si ricavano i parametri di misura che vengono confrontati coi parametri contenuti nel vettore di riferimento e relativi all'indice di striscia in esame: se il parametro calcolato è contenuto in un intervallo di riconoscimento lungo n deviazioni standard, centrato sul valore medio, la ROI in esame viene classificata come normale, altrimenti viene classificata come difettosa.

In questa fase di simulazione e al fine di visualizzare l'efficienza dell'algoritmo, il programma di analisi costruisce un'immagine di sintesi nella quale a ciascuna ROI viene assegnato un valore di luminanza in funzione del risultato dei confronti effettuati: si ha una ROI con luminanza 0 se tutti i parametri calcolati rientrano nella norma, mentre si ha una ROI con luminanza $0 \leq L \leq 255$ per una qualsiasi combinazione di n parametri che differiscono dalla norma più n deviazioni standard (v.fig.15). Questa immagine di sintesi serve esclusivamente ai progettisti per lo studio dell'incidenza che i singoli parametri statistici, o loro combinazioni lineari, hanno nella individuazione di un generico difetto.

Al termine della scansione dell'immagine da analizzare si possono analizzare gli indici delle ROI in cui sono stati classificati dei difetti; si può così riconoscere la geometria e la posizione spaziale dei difetti nel loro insieme. Per mettere a punto la procedura è stato necessario eseguire una attenta indagine per determinare le dimensioni delle ROI più favorevoli per individuare i difetti e pesare nella maniera più adeguata i risultati dei confronti dei vari parametri. E' opportuno inoltre eseguire la fase di apprendimento su strisce di lunghezza considerevole in maniera da ricavare un numero di campioni sufficientemente elevato per ciascun parametro di misura e verificare se la loro distribuzione è di tipo normale e se si possono di conseguenza usare i criteri di decisione standard.

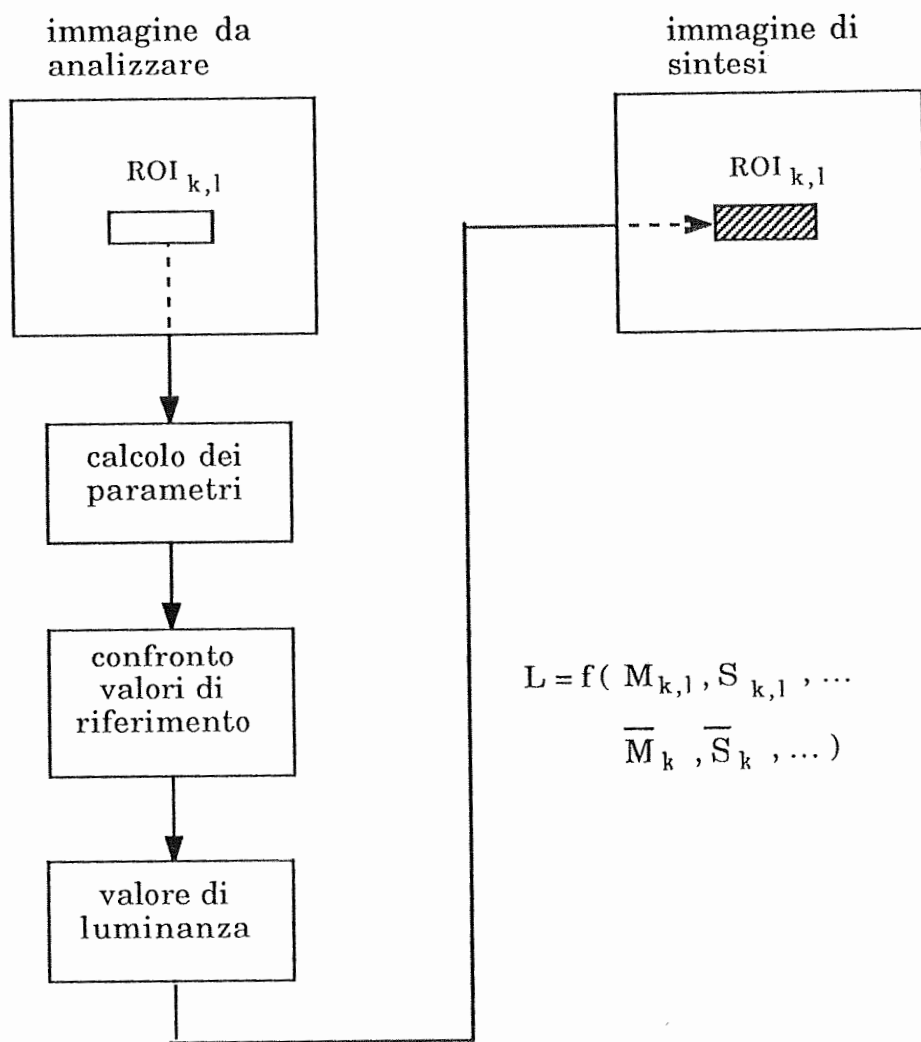


Fig. 15 - Analisi dell'immagine

In una prima sperimentazione si è ritenuto opportuno assegnare un unico valore n impiegato per i confronti con tutti i parametri statistici calcolati nelle ROI di analisi; nonostante questa limitazione, si è potuto constatare che il metodo di riconoscimento è in grado di rivelare vari tipi di difetti con caratteristiche geometriche e radioentriche anche molto diverse. Tuttavia, nelle condizioni di lavori attuali, risulta frequente l'individuazione anche di ROI contenenti "pseudo imperfezioni" di tipo isolato caratterizzate in genere da elevati valori dei parametri kurtosis e skewness. E' quindi opportuno affinare il metodo di riconoscimento e proseguire la sperimentazione per verificare se esiste una combinazione lineare ottimale valida per la rivelazione di più difetti e se è individuabile una relazione fra i parametri tale da consentire la riduzione dei margini di incertezza.

Nelle figure che seguono sono mostrati alcuni esempi di analisi eseguite su quattro diversi campioni con difetti e strutture del tessuto diversi; in particolare sono stati scelti difetti a basso e medio contrasto di tipo periodico, aperiodico e isolati. Nella figura 16a è mostrata l'immagine digitale del campione C15 con difetto di "fili volanti" caratterizzato da elevato contrasto e medio rumore. Nella figura 16b è mostrata l'immagine di sintesi che riporta la mappa delle zone di difetto rivelate, le varie tonalità di grigio codificano l'influenza dei vari parametri: nell'immagine si vedono anche alcune ROI che individuano pseudo difetti.

Nelle figure 17a e 17b sono mostrate rispettivamente l'immagine di acquisizione del campione C11 con un difetto di "fallo di macchina", e la relativa immagine di sintesi che mostra una soddisfacente individuazione della malformazione anche se il difetto rivelato ha perso la caratteristica di periodicità che aveva in origine.

Nella figura 18a è mostrata l'immagine di acquisizione del campione C4 con un difetto di "macchia d'olio" caratterizzato da un contenuto rapporto segnale/rumore; nella figura 18b è rappresentata l'immagine di sintesi derivata dall'analisi eseguita impiegando ROI di dimensioni maggiori di quelle usate negli esempi precedenti. La banda scura verticale, che si può notare nella parte destra di fig. 8a, era presente anche nella zona riservata alla fase di apprendimento, per cui, correttamente, durante la fase di analisi non è stata individuata quale difetto nonostante che il suo contrasto risulti identico a quello della imperfezione ricercata e individuata; questa esperienza è stata effettuata proprio per mettere bene in evidenza sia l'efficienza dell'algoritmo, sia la sua dipendenza dalla corretta esecuzione della fase di apprendimento.

Nella figura 19a è mostrata l'immagine di acquisizione del campione C16 con difetto di "nodi in catena" di tipo aperiodico-isolato caratterizzato da medio contrasto.

Nella figura 19b è mostrata la corrispondente immagine di sintesi che mette in evidenza la rivelazione dei difetti e quella di alcuni "pseudo difetti" caratterizzati, nell'immagine di acquisizione, da piccoli punti isolati a medio o elevata riflettanza; sono proprio queste piccole zone, che non costituiscono un reale difetto, che possono facilmente mettere in crisi l'algoritmo di rivelazione.

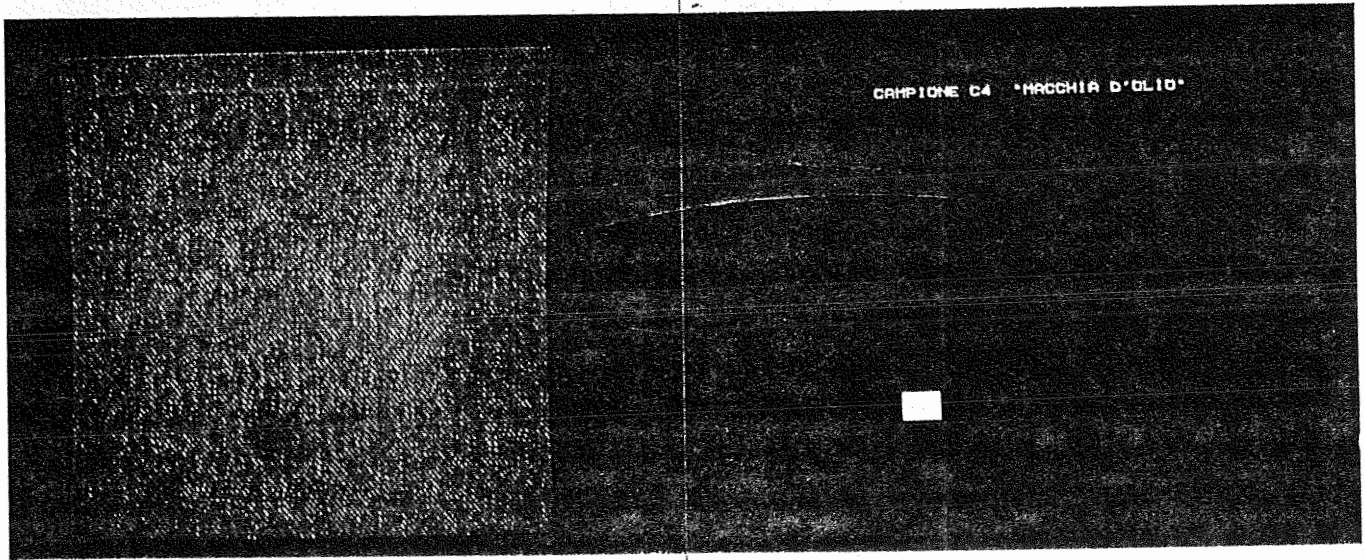


Fig. 18a
Campione C4: "macchie d'olio".

Fig. 18b
Campione C4: "macchie d'olio".
ROI 16x16, N=6

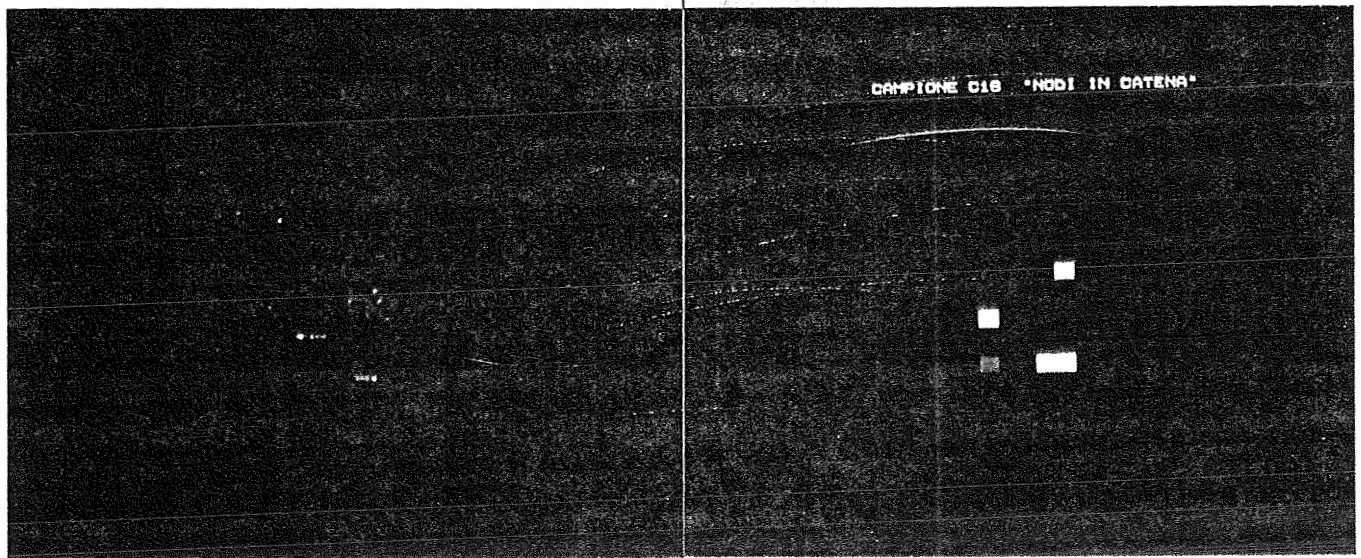


Fig. 19a
Campione C16: "fili volanti in catena".

Fig. 19b
Campione C16: "fili volanti in catena". ROI 16x16, N=9

Conclusioni

Gli esempi riportati si riferiscono a prove eseguite su campioni con caratteristiche alquanto diversificate di contrasto e riflettanza media, e digitalizzati mediante le tecniche e metodologie illustrate nei capitoli precedenti curando, in particolare, la riduzione del rumore e delle degradazioni introdotte dal processo di acquisizione. Gli strumenti descritti dovranno essere comunque utilizzati per esaminare ulteriori tipi di difetti cercando di simulare anche le condizioni di velocità previste dalle necessità operative del controllo in linea. E' fondamentale soprattutto poter eseguire adeguate sperimentazioni con i dati reali di acquisizione ottenuti dal sistema che attualmente è in fase di realizzazione a cura della società Scriba e che dovrà operare in tempo reale in indagini su pezzi di grandi dimensioni.

Attualmente, e nelle condizioni di simulazione dichiarate, il metodo sembra avere buone caratteristiche di efficienza e affidabilità; il tipo di algoritmo, relativamente semplice, può essere eseguito in modo veloce e si presta bene per una segmentazione parallela. Tuttavia sarà necessario esaminare attentamente le limitazioni imposte dalla inevitabile rivelazione di più o meno numerosi "pseudo difetti"; l'eliminazione di questo inconveniente comporterà una serie di controlli che possono condizionare l'efficienza globale del metodo.

I risultati conseguiti in questo modo andranno confrontati con quelli prodotti con tecniche o metodi di analisi differenti. A questo scopo è iniziata un'attività riguardante la sperimentazione di algoritmi sviluppati dalla società Scriba e lo sviluppo di procedure di indagine per l'individuazione dei difetti basate sull'analisi di immagini nel dominio spaziale (operazioni di derivazione del segnale acquisito) o nel dominio delle frequenze spaziali (analisi mediante le trasformate di Fourier): i risultati degli studi e delle sperimentazioni attualmente in atto saranno descritti in un successivo rapporto.

Bibliografia

- 1) L.Azzarelli, R.Bozzi, M.Chimenti: "Progetto Brite: Analisi preliminare per la definizione di un sistema per il controllo di qualità". Nota Interna B4-17, Aprile 1990.
- 2) L.Azzarelli, M.Chimenti, O.Salvetti, S.Salvadori: "Progetto della stazione di lavoro MFA/DIGIRAD". Nota Interna B4-10, 1989.
- 3) L.Azzarelli, P.Andronico, M.Ballati, E.Fantini, R.Panicucci: "Indagine preliminare sulla qualità e distribuzione dei dati in campioni di tessuto denim". Nota Interna IEI, Giugno 1990.
- 4) L.Azzarelli, S.Cesaro, M.Chimenti: "DIRAD/LS: Procedura per l'acquisizione e la digitalizzazione di immagini mediante il dispositivo MFA/DIGIRAD". Nota Interna B4-60, 1986.

Ringraziamenti

Si ringrazia il signor R. Panicucci per la collaborazione offerta durante la fase di acquisizione delle immagini e la signora M. Ballati che ha curato la redazione di questo rapporto.