



Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Sviluppo di una procedura per il controllo della
forma di piastrelle**

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

B4-05
feb-1999

METIER TETRApc TTN

A contactless optical measurement system to verify tiles outline of different materials
OUTLINE

Sviluppo di una procedura per il controllo della forma di piastrelle

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

Istituto di Elaborazione della Informazione – CNR, Pisa

Indice

Sviluppo di una procedura per il controllo della forma di piastrelle	1
Requisiti di misura.....	3
Principio di misura	5
Determinazione delle regioni di interesse (ROI) sull'immagine	7
Rilevamento iniziale di punti di bordo	8
Determinazione delle rette di bordo	8
Determinazione dei vertici di bordo.....	8
Determinazione dei punti di riferimento e di misura.....	8
Misura delle caratteristiche.....	9
Altezza e larghezza.....	9
Rettilinearità degli spigoli.....	9
Ortogonalità degli spigoli	9
Apparato di ripresa	11
Procedura di elaborazione.....	13
Fase d'ispezione.....	13
Selezione.....	13
Acquisizione	13
Estrazione punti.....	13
Correzione geometrica.....	13
Misura delle caratteristiche	14
Fase di calibrazione.....	16
Fattori per la conversione da pixel in millimetri.....	16
Coefficienti per la correzione delle misure di rettilinearità	17
Coefficienti per la correzione delle misure di ortogonalità	17
Interfaccia utente	19
Selezione.....	19
Visualizzazione	20
Calibrazione	20
Ispezione.....	21
Distanze	21
Misure di forma.....	21
Parametri.....	21
Funzioni di IO	21
Stato.....	21
Archivio dei dati	22
Riferimenti	23

Requisiti di misura

La forma delle piastrelle di ceramica è valutata seguendo la norma europea EN 98, che fissa le regole per la determinazione delle caratteristiche dimensionali e d'aspetto.

In particolare, per quanto concerne le misure di forma della superficie, la norma stabilisce l'esecuzione di serie di misure sulla piastrella.

Escludendo le misure di spessore, non considerate nel progetto, si hanno le seguenti definizioni.

- Lunghezza e larghezza, misurate tra due coppie di lati della piastrella, a cinque millimetri dagli spigoli
- Rettilinearità degli spigoli, determinata dallo spostamento di ciascuno spigolo da una retta tangente in due punti
- Ortogonalità, determinato dallo spostamento di ogni spigolo, a cinque millimetri dall'angolo, rispetto ad una retta posta a 90° rispetto alla retta tangente allo spigolo adiacente

Per eseguire le misure di forma in modo convenzionale su piastrelle con superficie maggiore di 4 cm² si fa uso di un'apparecchiatura costituita da un adeguato supporto meccanico, una serie di piastre di calibrazione e almeno due comparatori con precisione di 0,1 mm.

Una volta fatto l'azzeramento dei comparatori mediante la piastra di calibrazione, la piastrella da esaminare viene posta sul supporto, in contatto coi punti d'appoggio del supporto. Mediante i comparatori si misurano quindi gli spostamenti dei punti di misura rispetto ai valori iniziali; eseguendo successive rotazioni della piastrella si ricavano le misure nei nove punti indicati in figura 1.

Combinando in modo opportuno le varie misure si ricavano le caratteristiche definite in precedenza; i risultati delle misure sono espressi in millimetri o come percentuale della lunghezza della diagonale della piastrella.

La procedura per la determinazione automatica della planarità da sviluppare nell'ambito del progetto Outline deve essere in grado di fornire le misure sopra esposte, in modo da soddisfare i requisiti della norma di controllo. Inoltre, la procedura dev'essere in grado di soddisfare due ulteriori classi di requisiti [1]:

- requisiti di utenza, relativi al tipo e al formato delle piastrelle da esaminare, alla precisione di misura e alle condizioni operative (velocità di movimentazione delle piastrelle e condizioni operative ambientali, manutenzione e espandibilità funzionale del sistema di ispezione)
- requisiti di sviluppo, relativi all'approccio seguito per le tecniche di indagine, all'architettura del sistema e al tipo di piattaforma elaborativa impiegata.

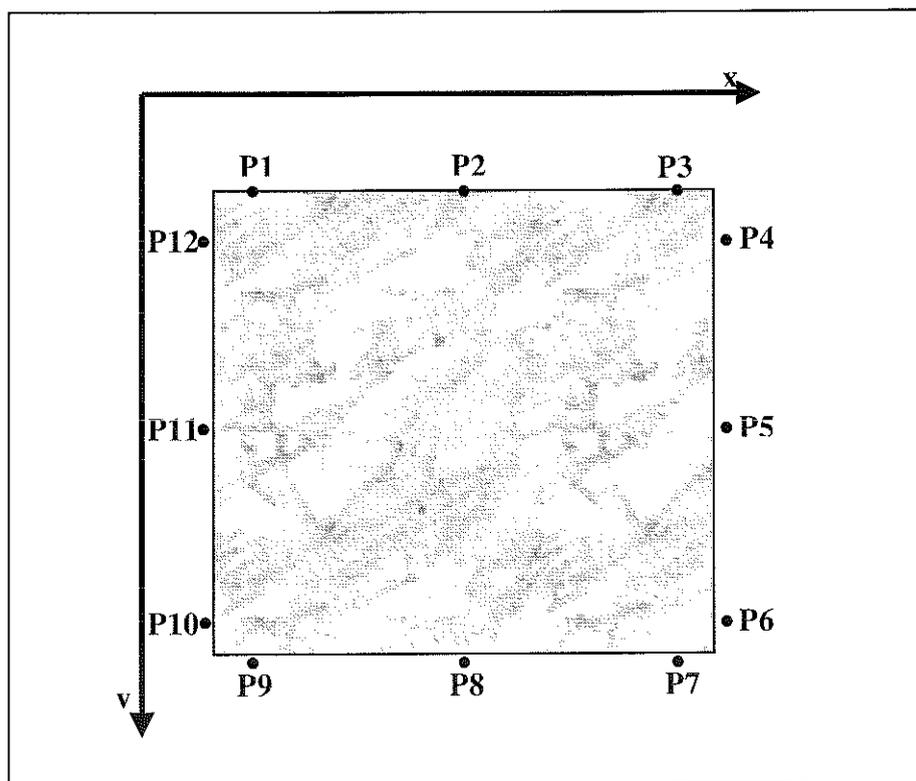


Figura 1. Posizione dei dodici punti di misura per la determinazione delle caratteristiche di forma di una piastrella. I punti in corrispondenza dei quattro angoli sono alla distanza prefissata dagli spigoli; gli altri punti sono posti rispettivamente a metà di ciascuno spigolo.

Principio di misura

Al fine di determinare le caratteristiche di forma, il progetto Outline prevede l'elaborazione digitale delle immagini ottenute ponendo le piastrelle su una sorgente luminosa estesa e uniforme (vedi figura 2): poiché in questo tipo di controllo non si deve esaminare l'aspetto della faccia superiore della piastrella, le condizioni di ripresa sono regolate in modo da ottenere un'immagine sostanzialmente di tipo binario, in cui i pixel relativi alla piastrella hanno un valore di luminanza pressoché eguale a zero, mentre i pixel non appartenenti alla piastrella hanno un valore di luminanza prossimo alla saturazione.

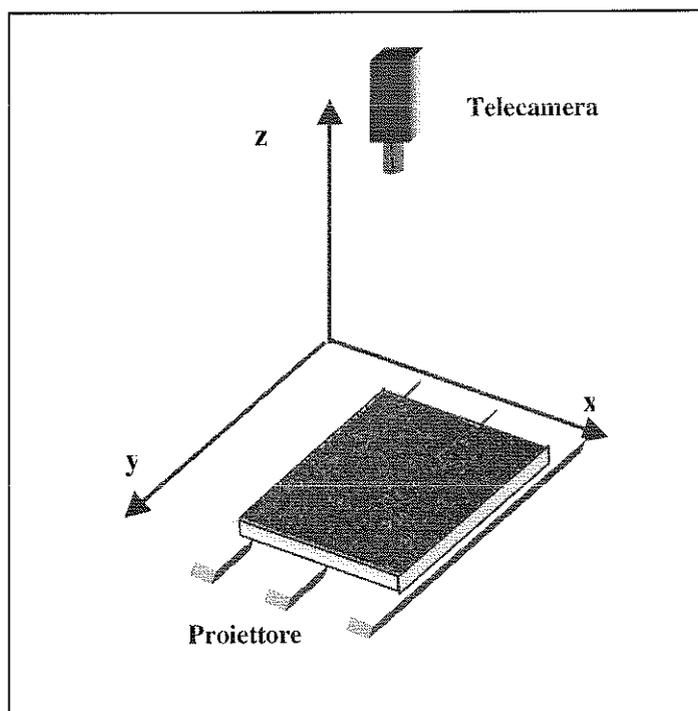


Figura 2. Ispezione delle piastrelle per il rilevamento delle caratteristiche di forma

Se l'asse ottico della telecamera di ripresa è perpendicolare al piano xy su cui giace la piastrella e l'obiettivo non introduce distorsioni geometriche, il contorno dell'immagine della piastrella è conforme al contorno reale della piastrella, in modo che si possono eseguire le misure richieste elaborando opportunamente l'immagine acquisita. In questo caso, infatti, se $\Omega, (x', y')$ e $\Omega (x, y)$ sono rispettivamente i sistemi di riferimento sul piano immagine e sul piano oggetto, la trasformazione di coordinate tra i due sistemi è definita da un fattore di scala, determinato dall'ingrandimento complessivo del sistema di ripresa. Si ha dunque:

$$x' = kx$$

$$y' = ky$$

Nel caso in cui il pixel della telecamera di ripresa non sia perfettamente quadrato, la trasformazione di coordinate è ancora di tipo lineare, con due coefficienti diversi; si ha:

$$\begin{aligned}x' &= k_1 x \\y' &= k_2 y\end{aligned}$$

In entrambi i casi, noti i valori di coefficienti, elaborando l'immagine è possibile eseguire misure dell'oggetto con la precisione richiesta.

Se l'asse ottico dell'obiettivo non è perpendicolare al piano dell'oggetto ripreso, si ha una distorsione prospettica della forma: ad esempio, l'immagine di un oggetto di quadrato ha una forma di tipo trapezoidale. Anche in questo caso, se si conosce il valore dell'inclinazione dell'obiettivo, è teoricamente possibile correggere l'immagine acquisita in modo da raggiungere la precisione di misura richiesta.

In pratica, però, una completa correzione geometrica dei dati è pressoché impossibile, poiché l'obiettivo introduce anche una distorsione non lineare, di tipo barilotto o cuscinetto, che è alquanto difficile da determinare con esattezza.

Questo problema è stato parzialmente risolto, grazie alla modalità di esecuzione delle misure. Il controllo della forma delle piastrelle non comporta, infatti, il rilevamento esatto dell'intero profilo di essa, ma soltanto la misura delle distanze tra coppie di punti predefiniti, che nel piano oggetto possono appartenere solo ad un insieme di rette; inoltre, fissato il formato delle piastrelle, i punti di misura possono subire solo piccoli spostamenti. Secondo queste considerazioni, è possibile eseguire una correzione geometrica non sull'intero piano di misura ma solo in piccole zone predeterminate, all'interno delle quali si può presumere che la funzione di trasformazione sia sostanzialmente di tipo lineare.

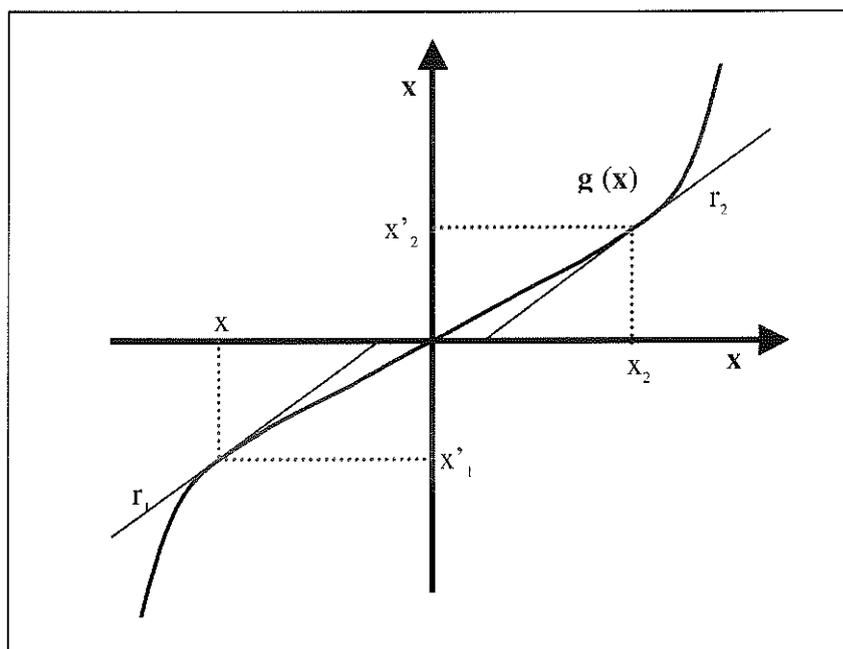


Figura 3. Esempio di trasformazione non lineare di coordinate.

Si consideri ad esempio la figura 3, in cui la curva $g(x)$ rappresenta la trasformazione di coordinate dal sistema Ω al sistema Ω_1 lungo una retta con $y = \text{costante}$.

Per piccole variazioni di x_1 , la curva $g(x)$ può essere approssimata con la retta r_1 , tangente alla curva sulla verticale di x_1 ; in modo analogo, si può considerare la retta r_2 per piccole variazioni di x_2 . Si assume che $g(x)$ (che rappresenta la distorsione geometrica introdotta dall'obiettivo) sia simmetrica rispetto all'asse x' ; si assume che anche i punti x_1 e x_2 (che

corrispondono ai punti di misura sulla piastrella) siano simmetrici rispetto all'asse x' : le rette r_1 e r_2 sono quindi parallele e sono definite dall'equazione $x' = a + mx$. Si hanno dunque le seguenti approssimazioni:

$$\text{nell'intorno di } x_1 \quad x' = a_1 + m(x-x_1)$$

$$\text{nell'intorno di } x_2 \quad x' = a_2 + m(x-x_2)$$

La distanza tra i punti immagine di x_1 e x_2 è data da:

$$d_0 = (x_2' - x_1') = - (a_1 - a_2 + m(x_1 - x_2))$$

Se i punti x_1 e x_2 sono spostati della quantità $\pm \delta$, rispettivamente a destra e a sinistra, sull'immagine si ottiene la distanza:

$$d_1 = - (a_1 + m(x_1 \pm \delta)) - (a_2 + m(x_2 \pm \delta)) = - (a_1 - a_2 + m(x_1 - x_2) \pm 2m\delta) = d_0 \pm 2m\delta$$

Per piccole variazioni si ha dunque il fattore d'ingrandimento lineare m , valido solo per la retta cui appartengono i punti sull'oggetto e solo per piccoli intervalli centrati sui punti di riferimento x_1 e x_2 .

Al fine di ricavare il valore di m si devono elaborare l'immagine dell'intervallo di riferimento (x_1, x_2), di lunghezza nota, e l'immagine di un intervallo leggermente diverso, anch'esso di lunghezza nota: in pratica, si possono elaborare le immagini di due piastrelle le cui caratteristiche di forma, misurate secondo la norma, differiscano di qualche millimetro.

Al fine di semplificare le operazioni di calibrazione, anziché considerare le rette indicate in figura 3, tangenti alla curva, si considerano le rette secanti e passanti per l'origine; si usano quindi le seguenti approssimazioni:

$$\text{nell'intorno di } x_1 \quad x' = m(x-x_1)$$

$$\text{nell'intorno di } x_2 \quad x' = m(x-x_2)$$

In questo modo, la distanza tra i punti immagine di x_1 e x_2 è data da:

$$d_0 = (x_2' - x_1') = m(x_2 - x_1)$$

Mediante l'elaborazione di una singola immagine si ricavano quindi i coefficienti d'ingrandimento per ciascuna delle misure da eseguire.

Il criterio di elaborazione usato per l'esecuzione delle misure di forma sulle immagini delle piastrelle è descritto in dettaglio in un precedente rapporto [2]; per comodità si riassumono di seguito i passi principali.

Le coordinate dei pixel dell'immagine digitale sono espresse con valori interi mediante gli indici di riga (j) e di colonna (i), con $0 \leq i \leq N-1$, $0 \leq j \leq M-1$; i valori di luminanza del pixel (L) sono anch'esse espressi da valori interi, definiti da un byte.

Determinazione delle regioni di interesse (ROI) sull'immagine

Sulla matrice di acquisizione vengono definite quattro ROI quadrate, ROI 1+4: i cui centri sono stabiliti durante una fase di calibrazione iniziale in corrispondenza dei vertici della piastrella di riferimento relativa a un formato predefinito; in ciascuna ROI devono essere compresi sia pixel appartenenti alla piastrella, sia pixel esterni (fondo).

Rilevamento iniziale di punti di bordo

Le ROI vengono esplorate per determinare dei punti di bordo in funzione del valore di soglia fotometrica T prefissata; al termine dell'elaborazione si hanno otto insiemi di punti adiacenti, due per ciascuno spigolo della piastrella

Determinazione delle rette di bordo

Gli otto insiemi di punti di bordo ricavati nella fase precedente vengono raggruppati a coppie in base allo spigolo di appartenenza; applicando un algoritmo di regressione a ciascuno degli insiemi di punti si ottengono quattro rette di bordo: in condizioni ideali, le rette ottenute da una coppia di spigoli opposti sono parallele tra loro e ortogonali alle altre due rette (vedi figura 4).

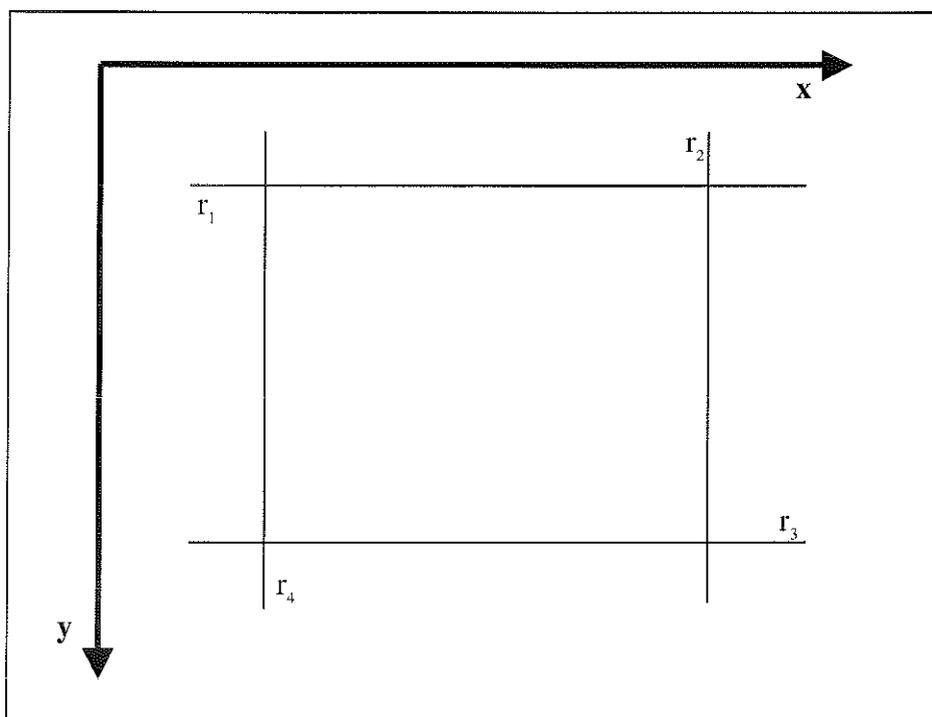


Figura 4. Numerazione delle rette di bordo

Determinazione dei vertici di bordo

I punti di intersezione delle rette di bordo individuano i quattro vertici di bordo, situati in prossimità dei vertici reali della piastrella: ad esempio, il vertice V_1 è dato dall'intersezione di r_1 con r_2 , il vertice V_2 è dato dall'intersezione di r_2 con r_3 , e così via.

Determinazione dei punti di riferimento e di misura

Su ciascuna delle rette di bordo si determinano tre punti di riferimento Q , due punti marginali, posti a distanza A dal vertice, e un punto centrale. Una volta determinati i 12 punti di riferimento Q_k , per ciascuno di essi si costruisce la retta n_k passante per il punto e perpendicolare alla retta r cui appartiene Q_k .

L'immagine acquisita è nuovamente esaminata lungo le rette n_k , e in base al confronto con la soglia fotometrica si determinano 12 punti P_k sul bordo della piastrella (vedi figura 1).

Misura delle caratteristiche

Mediante i valori delle coordinate x,y dei punti P_k si ricavano dei valori di distanza che definiscono, in base alle norme EN, le caratteristiche di forma della piastrella esaminata.

Altezza e larghezza

Per ricavare queste caratteristiche si determinano le distanze tra i punti di misura appartenenti a due lati opposti; si ha:

- $H_1 = d(P_1, P_9)$
- $H_2 = d(P_2, P_8)$
- $H_3 = d(P_3, P_7)$
- $W_4 = d(P_4, P_{12})$
- $W_5 = d(P_5, P_{11})$
- $W_6 = d(P_6, P_{10})$

Rettilinearità degli spigoli

Per ciascun lato si determina la retta r' individuata dai due punti di misura marginali P_n e P_{n+2} e si misura la distanza tra r' e il punto di misura centrale P_{n+1}

Si ottengono i seguenti valori:

- $C_7 = d(P_2, r'_1)$
- $C_8 = d(P_3, r'_2)$
- $C_9 = d(P_8, r'_3)$
- $C_{10} = d(P_{11}, r'_4)$

Ortogonalità degli spigoli

Per ricavare l'ortogonalità tra una coppia di lati definiti dai numeri k e $k+1$ si calcola l'equazione della retta r'_{k+1} individuata dalla coppia di punti di misura marginali appartenenti al lato con indice $k+1$, si determina quindi la retta n'_{k+1} , perpendicolare a r'_{k+1} e passante per il punto marginale più vicino appartenente al lato con indice k ; si misura infine la distanza tra la retta n'_{k+1} e il punto marginale più lontano appartenente al lato con indice k . (vedi figura 5).

Si ottengono i seguenti valori:

- $O_{11} = d(P_1, n'_1)$
- $O_{12} = d(P_4, n'_2)$
- $O_{13} = d(P_7, n'_3)$
- $O_{14} = d(P_{10}, n'_4)$

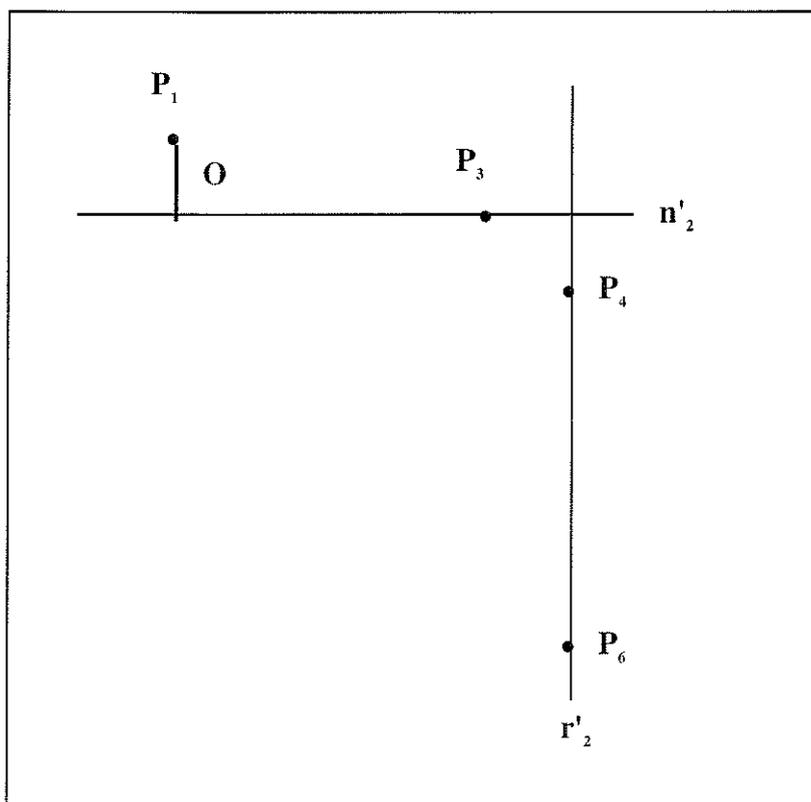


Figura 5. Elementi impiegati per la misura dell'ortogonalità dei lati compresi tra i vertici V_1 , V_2 e V_3 .

Apparato di ripresa

Nello svolgimento della ricerca sono state valutate le possibili soluzioni per la realizzazione dell'apparato per le misure dimensionali delle piastrelle [3]; la figura 6 mostra una vista d'insieme della versione sperimentale del sistema usato per l'acquisizione di immagini statiche.

Le piastrelle da esaminare sono poste sul piano d'appoggio di un illuminatore, che determina il piano xy del sistema di riferimento di laboratorio. La telecamera è piazzata sul braccio verticale di uno stativo, ed è regolata in modo che il suo asse ottico sia perpendicolare al piano dell'illuminatore, individuando così l'asse z del sistema di riferimento.

Al fine di contenere l'ingombro dell'apparato, è stato impiegato un obiettivo di focale corta, che introduce una distorsione geometrica sulle immagini riprese: questo effetto viene sostanzialmente compensato correggendo i valori di misura col criterio descritto in precedenza.

La versione sperimentale fa uso dei dispositivi di acquisizione che saranno montati sul prototipo per le prove in linea. Le immagini sono riprese mediante una telecamera digitale Basler A113, che produce una matrice di 1300×1030 elementi; la telecamera invia i dati, con cadenza di 10 quadri il secondo, ad una scheda per l'acquisizione video MVFG - Inspecta-2; la scheda è inserita sul bus PCI di un personal computer Pentium 2 350 MHz biprocessore.

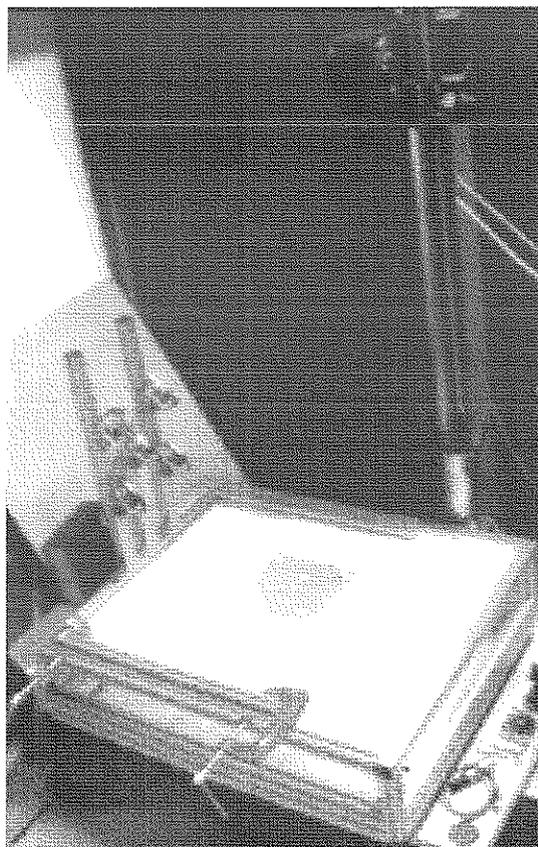


Figura 6. Vista del prototipo di sistema per l'acquisizione di immagini

Procedura di elaborazione

La figura 7 mostra il diagramma di flusso semplificato della procedura per il controllo di planarità.

La procedura è costituita da due fasi: la fase di calibrazione, che viene eseguita solo all'atto dell'installazione del sistema, oppure durante i controlli periodici, e la fase d'ispezione, che viene eseguita durante il controllo in linea delle piastrelle.

Fase d'ispezione

Questa fase è costituita da vari passi sequenziali che, escluso il primo, non richiedono alcun tipo d'interazione con l'operatore.

Selezione

All'avvio delle operazioni si deve selezionare il formato delle piastrelle da esaminare: in questo modo il programma ricerca in un archivio opportunamente predisposto i parametri necessari per l'esecuzione dei vari passi di elaborazione.

Acquisizione

Quando gli appositi sensori posti sul nastro trasportatore indicano che una piastrella ha raggiunto la posizione stabilita durante la regolazione meccanica del sistema, la telecamera acquisisce il quadro TV da elaborare.

Per ridurre al minimo le distorsioni introdotte dall'obiettivo impiegato per la ripresa delle immagini si impone che il centro della piastrella in esame sia sull'asse ottico dell'obiettivo, e si assume inoltre che la faccia da esaminare sia su un piano perpendicolare all'asse ottico. Di conseguenza, per tutti i possibili formati (di tipo quadrato o rettangolare) gli angoli delle piastrelle giacciono nominalmente su due rette predefinite nel sistema di riferimento schermo (vedi figura 8).

Il prototipo di sistema impiegato nelle prove iniziali funziona in condizioni statiche: la piastrella viene messa in posizione manualmente e l'acquisizione viene eseguita tramite un pulsante dell'interfaccia di controllo della procedura.

Estrazione punti

In base al tipo di formato selezionato nel passo iniziale, la procedura determina le posizioni di quattro regioni (ROI) sulla matrice dei dati da elaborare. La dimensione delle ROI è prefissata.

Partendo dall'elaborazione di queste ROI, la procedura esegue i passi elencati in precedenza, (rilevamento iniziale di punti di bordo, determinazione delle rette di bordo, determinazione dei vertici di bordo, determinazione dei punti di riferimento) per arrivare all'estrazione dei 12 punti di misura P_k sui bordi dell'immagine della piastrella (vedi figura 1).

La procedura calcola quindi le distanze tra i punti di misura, combinati in modo opportuno, per ricavare le misure H_j , W_j , C_j e O_j definite in precedenza.

Correzione geometrica

Facendo uso dei coefficienti di correzione definiti nella fase di calibrazione, la procedura converte in millimetri i valori espressi in pixel, ricavati nel passo precedente; con questa elaborazione, la procedura compensa gli artefatti introdotti nel processo di acquisizione delle immagini.

Si ottengono quindi le seguenti misure, espresse in millimetri:

Altezza e larghezza

- $H_1 \text{ mm} = H_1 \times f_1$
- $H_2 \text{ mm} = H_2 \times f_2$
- $H_3 \text{ mm} = H_3 \times f_3$
- $W_4 \text{ mm} = H_4 \times f_4$
- $W_5 \text{ mm} = H_5 \times f_5$
- $W_6 \text{ mm} = H_6 \times f_6$

Rettilineità

- $R_7 \text{ mm} = (R_7 - RR_7) \times f_2$
- $R_8 \text{ mm} = (R_8 - RR_8) \times f_5$
- $R_9 \text{ mm} = (R_9 - RR_9) \times f_2$
- $R_{10} \text{ mm} = (R_{10} - RR_{10}) \times f_5$

Ortogonalità

- $O_{11} \text{ mm} = (O_{11} - OO_{11}) \times f_1$
- $O_{12} \text{ mm} = (O_{12} - OO_{12}) \times f_4$
- $O_{13} \text{ mm} = (O_{13} - OO_{13}) \times f_3$
- $O_{14} \text{ mm} = (O_{14} - OO_{14}) \times f_6$

Misura delle caratteristiche

In questo passo la procedura fornisce la misura delle caratteristiche di forma della piastrella esaminata, secondo la norma di misura. Si hanno quindi il valore di altezza H, dato dalla media dei tre valori H_i definiti in precedenza, il valore di larghezza W, anch'esso dato dalla media delle tre misure parziali, i quattro valori di rettilineità C_j e i quattro valori di curvatura O_j , ricavati al passo precedente.

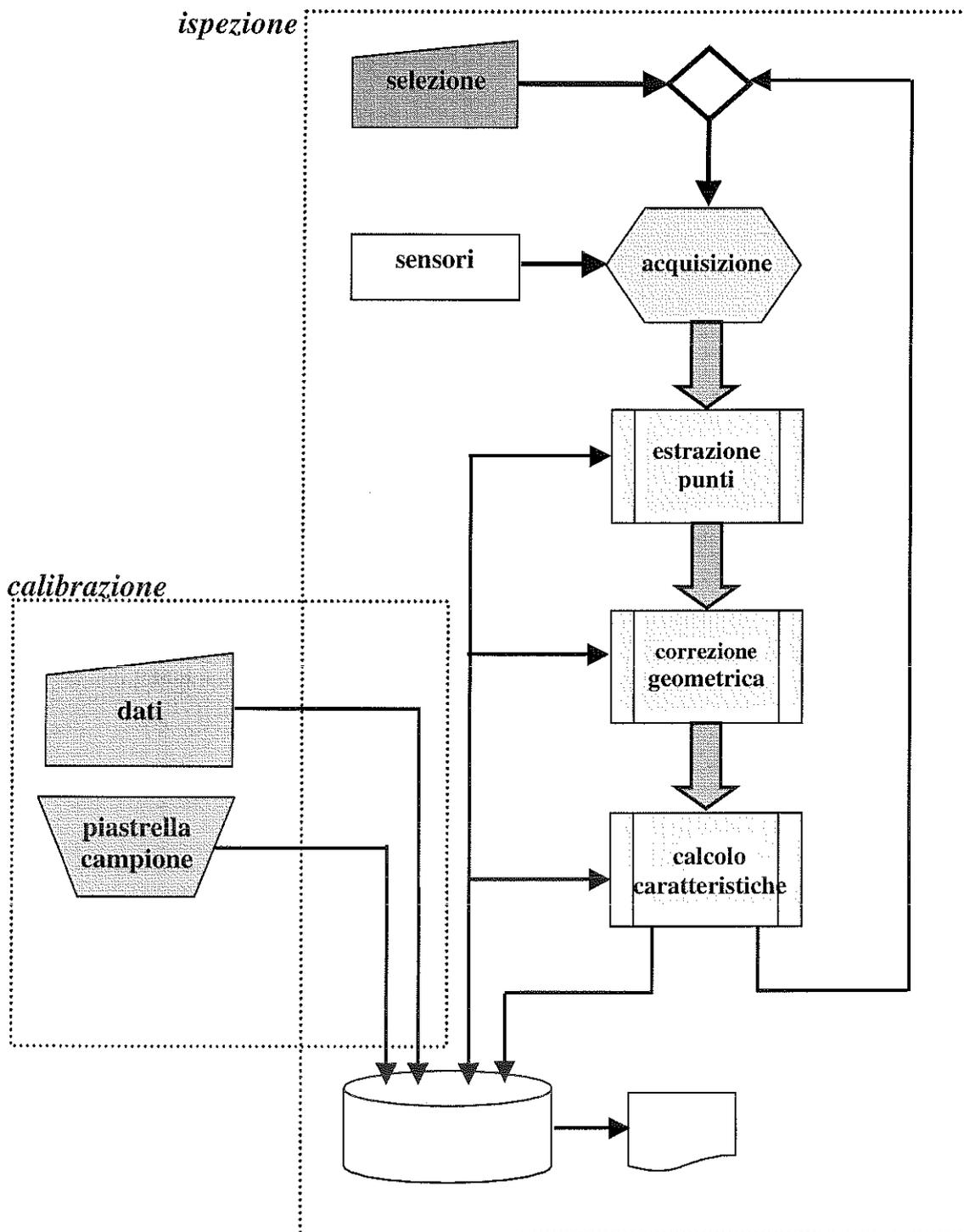


Figura 7. Diagramma di flusso della procedura per il controllo della forma.

Fase di calibrazione

Questa fase della procedura viene eseguita all'atto dell'installazione o del controllo del sistema, al fine di determinare o di aggiornare i valori di riferimento ed i parametri impiegati nella fase di ispezione: in particolare, in questa fase la procedura determina il fattore di scala per la conversione delle misure da pixel a millimetri e i fattori di correzione usati per compensare le distorsioni geometriche introdotte dall'obiettivo.

La fase di calibrazione comporta l'acquisizione e l'elaborazione dell'immagine di una piastrella campione (vedi figura 8).

Dopo aver inserito il nome, che identifica il tipo di formato delle piastrelle, e i valori delle caratteristiche di forma, ricavate con misurazioni meccaniche sulla piastrella campione, l'utente può inserire mediante la tastiera le coordinate dei vertici della piastrella, oppure può individuarli col mouse sull'immagine presentata sul monitor: in entrambi i casi, al termine di questo passo il programma scrive in un apposito atlante il nome (N), le caratteristiche (M) e le coordinate dei quattro vertici (V).

Nel passo successivo la procedura elabora l'immagine eseguendo i seguenti passi:

- richiamo dall'atlante dei valori V
- determinazione delle ROI sull'immagine
- esplorazione delle ROI
- determinazione delle coordinate dei dodici punti di misura $\{P_k\}$
- calcolo delle caratteristiche di forma H, W, C e O

A questo punto la procedura calcola i parametri da impiegare nella fase di ispezione per la correzione delle misure.

Fattori per la conversione da pixel in millimetri

Dall'elaborazione dell'immagine della piastrella campione sono state ricavate le misure di altezza e larghezza, espresse in pixel:

- $H_1 = d(P_1, P_9)$
- $H_2 = d(P_2, P_8)$
- $H_3 = d(P_3, P_7)$
- $W_4 = d(P_4, P_{12})$
- $W_5 = d(P_5, P_{11})$
- $W_6 = d(P_6, P_{10})$

Nell'atlante sono state inserite le distanze in millimetri, misurate sulla piastrella di riferimento tra le stesse coppie di punti. Indicando questi valori con $mH_1, mH_2, mH_3, mM_4, mH_5, mM_6$, la procedura calcola i fattori di conversione da pixel in millimetri, mediante le relazioni:

$$\begin{aligned}
f_1 &= mH_1 / H_1 \\
f_2 &= mH_2 / H_2 \\
f_3 &= mH_3 / H_3 \\
f_4 &= mW_4 / W_4 \\
f_5 &= mW_5 / W_5 \\
f_6 &= mW_6 / W_6
\end{aligned}$$

Coefficienti per la correzione delle misure di rettilineità

Dall'elaborazione dell'immagine della piastrella campione sono state ricavate le caratteristiche di rettilineità degli spigoli, espresse in pixel:

- $R_7 = d(P_2, r'_1)$
- $R_8 = d(P_5, r'_2)$
- $R_9 = d(P_8, r'_3)$
- $R_{10} = d(P_{11}, r'_4)$

Nell'atlante sono state inseriti i corrispondenti valori in millimetri, misurati sulla piastrella, e indicati con mR_j . La procedura converte in pixel questi valori, mediante le relazioni:

$$\begin{aligned}
RR_7 &= R_7 - (mR_7 / f_2) \\
RR_8 &= R_8 - (mR_8 / f_5) \\
RR_9 &= R_9 - (mR_9 / f_2) \\
RR_{10} &= R_{10} - (mR_{10} / f_5)
\end{aligned}$$

Il valore RR_j rappresenta il valore della lunetta, espresso in pixel, riscontrato sull'immagine di una piastrella avente un valore effettivo di lunetta uguale a zero; se non ci sono distorsioni geometriche si ha $RR_j = 0$.

Coefficienti per la correzione delle misure di ortogonalità

Dall'elaborazione dell'immagine della piastrella campione sono state ricavate le caratteristiche di ortogonalità degli spigoli, espresse in pixel:

- $O_{11} = d(P_1, n'_1)$
- $O_{12} = d(P_4, n'_2)$
- $O_{13} = d(P_7, n'_3)$
- $O_{14} = d(P_{10}, n'_4)$

Nell'atlante sono state inseriti i corrispondenti valori in millimetri, misurati sulla piastrella, e indicati con mO_j . La procedura converte in pixel questi valori, mediante le relazioni:

$$\begin{aligned}
OO_{11} &= O_{11} - (mO_{11} / f_1) \\
OO_{12} &= O_{12} - (mO_{12} / f_4) \\
OO_{13} &= O_{13} - (mO_{13} / f_3) \\
OO_{14} &= O_{14} - (mO_{14} / f_6)
\end{aligned}$$

Il valore OO_j rappresenta il valore dell'ortogonalità, espresso in pixel, riscontrato sull'immagine di una piastrella avente un valore effettivo di ortogonalità uguale a zero; se non ci sono distorsioni geometriche si ha $OO_j = 0$.

La procedura associa al tipo di formato della piastrina (N) i valori dei coefficienti f, CC e OO così determinati; nella fase di ispezione, questi valori, insieme coi valori V., sono automaticamente letti nell'atlante e usati per compiere le operazioni di misura.

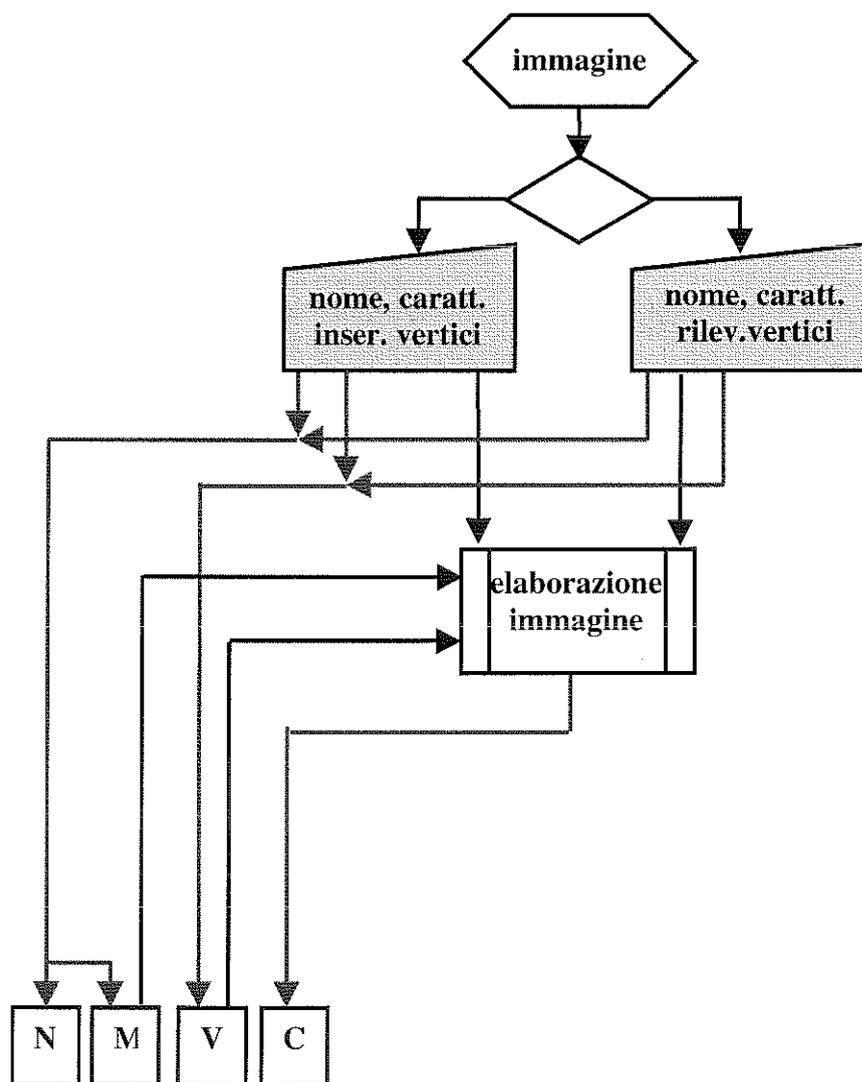


Figura 8. Diagramma di flusso delle operazioni eseguite nella fase di calibrazione.

Interfaccia utente

La versione sperimentale della procedura è controllata mediante l'interfaccia mostrata in figura 9.

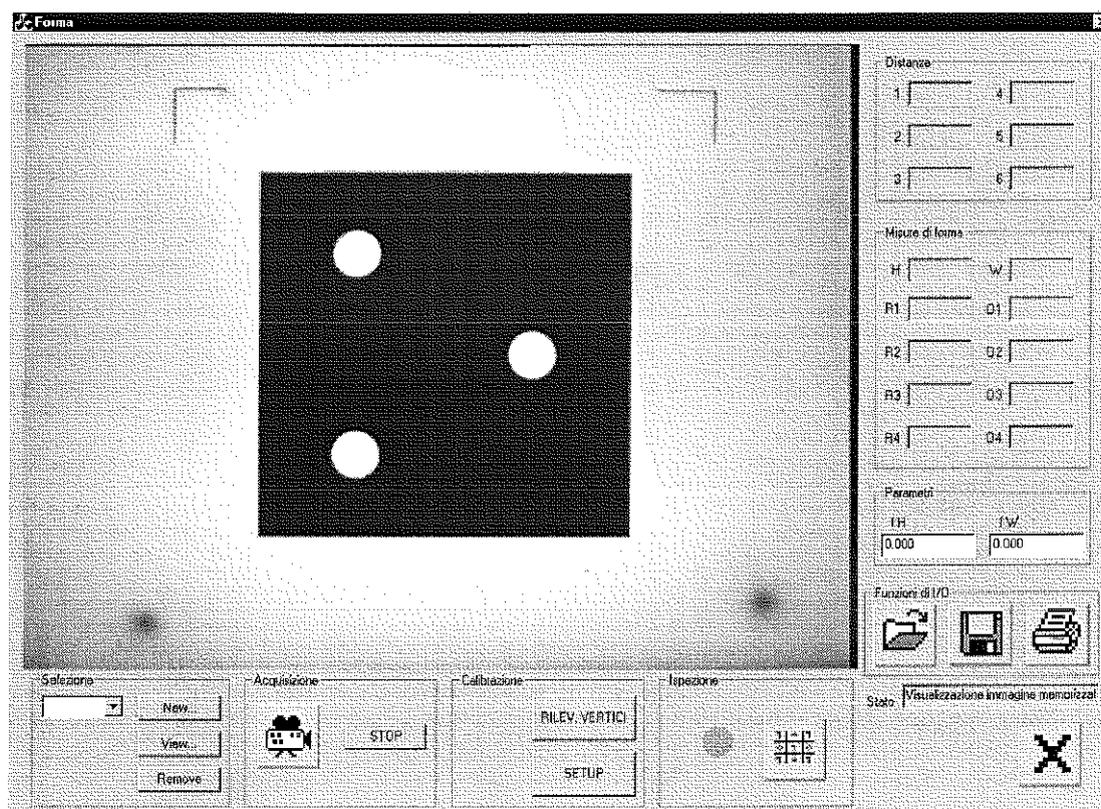


Figura 9. Interfaccia grafico-pittorica della procedura per il controllo della forma.

L'interfaccia comprende sostanzialmente una finestra di 768×576 pixel, in cui viene rappresentata l'immagine in esame, e diverse regioni, che contengono i pulsanti per il controllo delle operazioni e le finestre in cui vengono riportati i risultati delle misure.

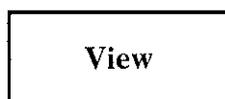
Selezione

Questa regione comprende una finestra che mostra il formato corrente, richiamato mediante una lista scorrevole: il formato dev'essere stabilito prima dell'inizio delle operazioni, sia che si attivi la fase di calibrazione, sia che si attivi la fase di ispezione.

La regione contiene inoltre i seguenti tre pulsanti



Questo pulsante disegna sullo schermo una scheda per la definizione di un nuovo formato. La scheda è costituita di vari campi in cui vanno inseriti i dati che definiscono le caratteristiche della piastrella (Tipo, Misure di forma) e le coordinate per la definizione delle ROI (Vertici) (v. figura 10).



Questo pulsante richiama la scheda riguardante il formato corrente

Remove

Questo pulsante consente di eliminare una scheda dalla lista

Tipo mattonella			Misure di forma				Vertici			
Nome	Edit		H1	Edit	R2	Edit	X1	Edit	Y1	Edit
H (mm.)	Edit		H2	Edit	R3	Edit	X2	Edit	Y2	Edit
W (mm.)	Edit		H3	Edit	R4	Edit	X3	Edit	Y3	Edit
			W1	Edit	D1	Edit	X4	Edit	Y4	Edit
			W2	Edit	D2	Edit				
			W3	Edit	D3	Edit				
			R1	Edit	D4	Edit				

Figura 10. Scheda per l'inserimento delle caratteristiche di forma della piastrella campione.

Visualizzazione

Questa regione comprende i seguenti due pulsanti



Questo pulsante abilita la visualizzazione in diretta della telecamera. Per definizione esso è attivo all'avvio della procedura; se la telecamera non è collegata o è spenta, la finestra d'immagine appare nera. Premendo il pulsante vengono rappresentate sullo schermo tre cornici sovrapposte all'immagine ripresa dalla telecamera, utilizzabili per la centratura della piastrella.

STOP

Questo pulsante arresta la visualizzazione diretta dell'immagine quando sono presenti le cornici di centratura.

Calibrazione

Questa regione comprende i seguenti due pulsanti

RILEV. VERTICI

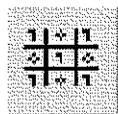
Questo pulsante consente di selezionare mediante il mouse i vertici della piastrella, per ricavare poi automaticamente le posizioni delle ROI. I vertici vanno inseriti in senso orario, partendo dalla posizione alto-sinistra

SETUP

Questo pulsante cattura l'immagine e avvia l'elaborazione necessaria per determinare i fattori di scala usati per ottenere le misure espresse in millimetri

In seguito a questa operazione, la procedura modifica i valori dei coefficienti f, RR e OO appartenenti al record dell'atlante relativo al formato selezionato; inoltre, se l'utente ha eseguito l'operazione di rilevamento vertici, la procedura modifica i valori XY contenuti nel record.

Ispezione



Questa regione comprende un pulsante che attiva l'elaborazione dell'immagine e scrive i risultati nelle apposite finestre delle regioni *Distanze* e *Misure di forma*. L'indicatore adiacente al pulsante è rosso quando è attivata la visualizzazione diretta della telecamera.

Distanze

Questa regione comprende sei finestre nelle quali sono riportate le misure di altezza (H1, H2, H3) e larghezza (W1, W2, W3) della piastrella. Nella fase di calibrazione, i valori sono espressi in pixel, nella fase di ispezione in millimetri.

Misure di forma

Questa regione contiene dieci finestre in cui sono riportate le caratteristiche H, W, R1-R4, O1-O4 della piastrella esaminata. Nella fase di calibrazione, i valori sono espressi in pixel, nella fase di ispezione in millimetri.

Parametri

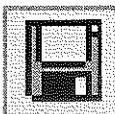
Questa regione contiene due finestre in cui sono riportati i valori medi dei fattori per la conversione delle misure in millimetri: f H è il valore medio di $\{f_1, f_2, f_3\}$, f W è il valore medio di $\{f_4, f_5, f_6\}$.

Funzioni di IO

Questa regione comprende i seguenti tre pulsanti



Questo pulsante apre una finestra **OPEN** di Windows, attraverso la quale l'utente può selezionare in una direttrice del disco l'immagine da elaborare; l'immagine selezionata viene caricata in memoria e visualizzata sullo schermo.

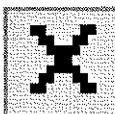


Questo pulsante apre una finestra **SAVE AS**, mediante la quale è possibile salvare l'immagine acquisita secondo le specifiche di Windows.



Questo pulsante attiva la stampa dei risultati dell'elaborazione.

Stato



Questa zona dell'interfaccia contiene una finestra, che riporta lo stato corrente della procedura, e un pulsante che determina l'uscita dalla procedura.

Archivio dei dati

La versione sperimentale della procedura è corredata del programma INATL, che crea un atlante in grado di contenere i parametri relativi a 200 tipi di piastrelle; la visualizzazione e l'aggiornamento dell'atlante sono fatte mediante i pulsanti NEW, VIEW e REMOVE descritti in precedenza. La figura 11 mostra il formato dei record dell'atlante.

nome	H	W	D1, ...,D6	R1, ...,R4	O1, ...,O4	f1, ...,f6	RR1, ...,RR4	OO1, ...,OO4	X1,Y1, ...,X4,Y4
------	---	---	---------------	---------------	---------------	---------------	-----------------	-----------------	---------------------

Figura 11. Struttura del record dell'atlante.

I campi del record hanno i seguenti formati

- Nome: 8 caratteri
- H: valore intero su 4 byte
- W: valore intero su 4 byte
- Misure D, R, O: valore reale in singola precisione
- Coefficienti di correzione f, RR, OO: valore reale in doppia precisione
- Coordinate X e Y: valore intero su 4 byte

Ad ogni elaborazione, la procedura provvede ad accodare automaticamente i risultati ottenuti in un record del file SINTEXF. Il record ha la struttura mostrata in figura 12

D1,...,D6	R1,...,R4	O1,...,O4	H	W	X1,Y1,...,X4,Y4
-----------	-----------	-----------	---	---	-----------------

Figura 12. Struttura del record del file SINTEXF.

dove:

- D1,...,D6 = misure delle sei distanze misurate sulla piastrella
- R1,...,R4 = misure delle caratteristiche di rettilineità
- O1,...,O4 = misure delle caratteristiche di ortogonalità
- H = misura della caratteristica di altezza
- W = misura della caratteristica di larghezza
- X1,Y1,...,X4,Y4 = coordinate dei vertici

I valori X1,Y1,...,X4,Y4 sono espressi in pixel, mentre le misure sono espresse millimetri; tutti i dati sono codificati in formato reale con due cifre decimali (%.2f), separati da uno spazio. Il file può essere letto e modificato mediante programmi tipo Notepad; i dati possono essere importati dal pacchetto Statmost.

Riferimenti

1. L. Azzarelli, E. Bozzi, M. Chimenti, O. Salvetti, D. Carra, A. Maccari: “ Impostazione generale del progetto di un sistema per il controllo di qualità di piastrelle” B4-27-98, IEI - CNR, Pisa
2. L. Azzarelli, E. Bozzi, R. Bozzi, M. Chimenti, S. Minutoli: “ Misure dimensionali di piastrelle mediante elaborazione di immagini” B4-28-98, IEI - CNR, Pisa
3. L. Azzarelli, M. Chimenti, O. Salvetti: “Specifiche di progetto di un sistema per il controllo di qualità di piastrelle” B4-29-98, IEI - CNR, Pisa





