

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000025502
Data Deposito	07/10/2021
Data Pubblicazione	07/04/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	05	B	19	418

Titolo

METODO DI AUTOMATIZZAZIONE DEI PROCESSI DI CONTROLLO QUALITA? IN AMBITO MANIFATTURIERO

TITOLO: METODO DI AUTOMATIZZAZIONE DEI PROCESSI DI CONTROLLO
QUALITA' IN AMBITO MANIFATTURIERO

DESCRIZIONE

Settore Tecnico dell'Invenzione

5 La presente invenzione trova la sua applicazione in ambito manifatturiero, ed affronta l'esigenza di ottimizzare i processi di controllo qualità, specialmente in contesti produttivi caratterizzati da una significativa varietà di produzioni.

10 In tali casi, le aziende normalmente non affrontano gli investimenti necessari per lo sviluppo di programmi e di sistemi che servono per eseguire i necessari controlli in forma automatica. Infatti, le tipologie di lavorazioni difettose o da scartare possono essere anche molto diversificate, ed i costi per sviluppare o aggiornare le applicazioni di controllo dovrebbero essere troppo frequenti, così, allo stato dei fatti, il controllo di qualità che oggi viene praticato, in un gran numero di casi, non può prescindere da ispezioni, effettuate pezzo per pezzo, ed eseguite da un operatore.

15 Tecnica Nota

Allo scopo di illustrare alcune caratteristiche tipiche dei processi di controllo qualità, e soprattutto le caratteristiche che rendono difficile l'automatizzazione spinta, e diffusa, di tali processi, si farà idealmente riferimento alle metodologie per la rilevazione di difetti estetici dovuti alle lavorazioni superficiali di generici manufatti.

20 Tuttavia, il processo descritto si può adattare a tutti a casi in cui difetti di lavorazione, o anomalie di produzione, possono essere riscontrati tramite l'ispezione visiva del manufatto da controllare.

Ovviamente i requisiti di qualità associati a questo genere di lavorazioni possono essere molto diversi da caso a caso, dato che la qualità estetica delle finiture riveste diversa importanza a seconda dello specifico prodotto.

Si prenderà ad esempio un caso con requisiti di qualità abbastanza stringenti, cioè il caso in cui l'obiettivo sia quello di identificare tutti i pezzi che presentino un qualche difetto, considerando anche la presenza di difetti relativamente piccoli.

Nel caso di un'azienda che non dispone di strumenti di automatizzazione del controllo qualità, le fasi operative del processo di controllo qualità vengono eseguite da un operatore sostanzialmente dedicato a visionare tutti i pezzi lavorati, uno per uno, e tutte le volte che trova un pezzo non conforme lo isola.

A questo punto, possono essere adottate due strade alternative: nel caso più semplice il pezzo difettoso viene semplicemente eliminato; in altri casi, più virtuosi, invece, il difetto viene riconosciuto e catalogato per successive analisi, volte al miglioramento del processo di produzione, oppure al recupero del pezzo scartato riparando l'anomalia riscontrata.

Ad esempio, se la lavorazione riguarda la superficie di un pannello da usare per la fabbricazione di un elemento d'arredo, il difetto potrebbe essere un graffio o un'ammaccatura (difetti riconducibili alla manipolazione dell'oggetto durante la lavorazione), oppure può essere la presenza di una o più macchie, o disomogeneità nella colorazione (questi ultimi difetti, invece, potrebbero essere riconducibili al malfunzionamento di alcuni macchinari per la verniciatura).

Nel caso in cui il controllo qualità preveda la catalogazione dei difetti riscontrati, è poi utile riportare anche la posizione e la dimensione del difetto.

La catalogazione è quindi importante, ed utile, per l'analisi successiva dei difetti riscontrati, per concepire misure di miglioramento dei processi produttivi, e per ridurre le percentuali di scarto.

La brevissima sintesi del processo di controllo qualità appena riportata evidenzia 5 subito come sia difficile definire criteri assolutamente oggettivi quando vengono messi in pratica processi di controllo di questo tipo. Certamente l'esito dei controlli eseguiti in questo modo non produce errori di grande evidenza (a meno di grave negligenza dell'operatore), tuttavia alcuni pezzi potenzialmente scartabili possono rientrare nei margini di discrezionalità dell'operatore che esegue il controllo.

10 Una oggettività di giudizio è comunque da annoverare tra gli obiettivi di ogni processo di controllo della qualità, e può certamente essere conseguita più facilmente ricorrendo a processi di controllo eseguiti automaticamente.

15 Come osservato in precedenza, i processi di qualità eseguiti automaticamente sono prevalentemente adottati nell'ambito di produzioni molto stabili e con grandi volumi di pezzi, cioè in casi nei quali l'investimento per automatizzare il processo si ripaga ampiamente.

Parlando in generale, giova osservare che l'automatizzazione del controllo di qualità 20 può essere impostata secondo due genesi diverse. La prima genesi di impostazione, si applica a quei processi di controllo qualità che sono concepiti e pensati, fin dalle fasi di progettazione ed ingegnerizzazione del prodotto, per essere eseguiti automaticamente; in tal caso molti controlli possono essere facilmente eseguiti in modo automatico, tipicamente effettuando specifiche misure (a seconda del particolare manufatto considerato) durante il processo produttivo.

25 In altri casi, invece, le fasi di progettazione ed ingegnerizzazione del manufatto non vengono condotte ponendo particolare attenzione per prevedere l'automatizzazione

del controllo di qualità, e si dà per scontato che una parte significativa di procedure di controllo vengano, almeno inizialmente, eseguite da operatori umani.

In questi casi, cioè per automatizzare un processo pensato per essere eseguito da un operatore, l'approccio che si segue consiste nel far fare a delle macchine più o meno quello che fa l'operatore. In altre parole, non si pensa a ridefinire i parametri di controllo, ma si continua a basare il controllo sulle evidenze che sono riscontrabili dall'operatore umano, pertanto:

- dal momento che l'operatore deve esaminare visivamente il manufatto da controllare, il sistema automatico dovrà prevedere un sottosistema per la ripresa di immagini;
- il sistema automatico, dovrà poi eseguire dei programmi di riconoscimento di immagini per riconoscere i difetti di lavorazione, simulando la prestazione dell'operatore, e, sempre come l'operatore, dovrà riportare in un qualche rapporto informatico, il risultato dell'esame eseguito.

La scelta di automatizzare il processo, simulando il comportamento dell'operatore umano, del resto, è una scelta di fatto obbligata in molti casi in cui il controllo mediante processi alternativi richiederebbe di ripensare il processo produttivo, ed eventualmente apportare modifiche ai macchinari di produzione. Inoltre è una scelta dettata anche dal fatto che la tecnica nota offre gran parte degli strumenti per eseguire automaticamente le operazioni sopra riportate.

Tuttavia esistono alcuni fattori che impediscono la diffusione (e la messa a punto) di processi automatizzati implementati in questo modo, o quantomeno li rendono poco convenienti sotto il profilo pratico, in moltissimi casi.

Se da un lato il sottosistema di ripresa video non pone problemi significativi, e soprattutto può essere usato per una notevole varietà di casi, dall'altro lato la

5 messa a punto dei necessari programmi di analisi delle immagini acquisite, pone diversi problemi, ed in alcuni casi rischia addirittura di non risultare fattibile.

La famiglia di tecnologie che oggi appare la più adatta per condurre questo genere di analisi delle immagini si basa sul così detto “*Deep Learning*” e l’impiego delle così 5 dette “reti neurali”.

Le “reti neurali” sono strumenti matematici noti da tempo, ampiamente studiati come dimostra l’ampia letteratura sull’argomento, e sono frequentemente usate quali strumenti di “*machine learning*” per il riconoscimento e la classificazione di immagini in maniera automatica. Il riconoscimento facciale è solo un esempio delle molte 10 applicazioni per le quali queste “reti neurali” vengono utilizzate.

È altresì ampiamente noto che, per il funzionamento di una “rete neurale”, è necessario un processo di addestramento e successiva validazione, durante il quale vengono presentate alla rete neurale una pluralità di immagini di cui già si conosce la corretta classificazione, al fine di addestrare la rete stessa ad associare a 15 ciascuna immagine la corretta classe.

È tuttavia evidente che, laddove il compito per il quale si vuole addestrare una “rete neurale” richieda specificamente di riconoscere dettagli relativi ad uno specifico componente industriale, quali sono, ad esempio, i difetti di produzione che in genere possono verificarsi in un contesto manifatturiero, sorge il problema di disporre di un 20 numero sufficientemente grande di immagini per addestrare la “rete neurale”.

Difatti per avere un elevato numero di immagini differenti relative a pezzi prodotti da uno specifico processo industriale, ed in particolare per avere un elevato numero di immagini relative a pezzi che presentano difetti estetici o altre tipologie di non conformità, è necessario avere a disposizione numerosi pezzi già prodotti e, in particolare, un elevato numero di pezzi difettosi o non conformi. Questo, nella 25

pratica industriale, è evidentemente eccessivamente dispendioso, sia in termini di tempi che in termini di costi, ed è uno dei motivi per i quali, in moltissimi casi, non vengono adottate procedure per l'analisi automatica della qualità di pezzi prodotti a livello industriale.

5 Alcuni casi di applicazioni pratiche, dimostrano la fattibilità tecnica di processi di controllo qualità, anche applicati al caso del controllo della presenza di difetti superficiali.

Ad esempio, [CN 111389741 A “Car brake pad surface defect detecting and authomatic sorting system based on machine vision”, Li Xiaoguang et al. – 10 Luglio 10 2020] descrive un sistema di controllo qualità di pastiglie per i freni, basato su tecniche di riconoscimento di immagini. Il riconoscimento in sé delle immagini non è l'oggetto dell'invenzione, in quanto si assumono noti strumenti in grado di riconoscere particolari tipologie di difetti. In questo caso, il ricorso a strumenti automatici di controllo è sensato in quanto i pezzi da esaminare sono moltissimi, 15 sono di dimensione relativamente piccola ed i possibili difetti sono pre-classificabili.

Tutte queste caratteristiche consentono di giustificare uno sforzo di programmazione non trascurabile, in quanto il beneficio di un controllo oggettivo, veloce ed automatico, compensa sicuramente gli investimenti fatti, soprattutto se l'applicazione è stabile nel medio periodo.

20 In [WO 9428397 A1 “An authomatic inspection apparatus”, Dalziel Marie Rosalie et al. – 8 Dicembre 1994] la soluzione indica nello specifico come le ispezioni di manufatti in genere vengano eseguite sulla base di una fase di addestramento del sistema preposto. La domanda di brevetto è ormai datata, ed il problema dell'addestramento di una rete neurale è un problema che, oggi, può ormai essere 25 considerato padroneggiato dallo stato dell'arte.

Infatti, il ricorso a sistemi di analisi e riconoscimento di immagini che non richiedono programmazione in senso classico, ma che sfruttano tecniche di apprendimento per produrre i programmi di riconoscimento dei difetti, è una strada quasi obbligata per realizzare sistemi realisticamente utilizzabili.

5 Del resto, non è sostenibile proporre un sistema che richieda pesanti attività di programmazione per ogni manufatto che si intenda controllare, soprattutto se l'ambito manifatturiero in cui si vuole applicare la soluzione è un ambito caratterizzato da forte varietà di produzioni.

Tuttavia, anche allo stato dell'arte, l'addestramento non può prescindere da un
10 consistente insieme di dati di addestramento, vincolo che preclude il ricorso a tali tecnologie per l'analisi delle immagini in tutti i casi in cui, non solo le produzioni sono molto varie, ma anche sono impostate su numeri di pezzi non molto elevati.

È quindi sostanzialmente irrisolto, allo stato dell'arte, il problema di addestrare una rete neurale ad uno specifico compito di riconoscimento e
15 classificazione di difetti e anomalie presenti su pezzi ottenuti mediante un processo industriale, proponendo una soluzione che sia tecnicamente ed economicamente implementabile.

In particolare rimane irrisolto allo stato dell'arte il problema tecnico di addestrare
una rete neurale ad uno specifico compito di riconoscimento e classificazione di
20 difetti e anomalie ottenendo alte prestazioni pur con un ridotto numero di pezzi disponibili, dai quali acquisire immagini di addestramento.

Scopo e sintesi dell'invenzione

Lo scopo generale della presente invenzione è quello di indicare una
metodologia di oggettivazione di controlli di qualità e di non conformità di prodotto
25 che implementi strumenti di intelligenza artificiale quali "reti neurali" e simili.

In particolare, si intende indicare una metodologia predisposta per implementare controlli di qualità eseguiti in modalità sempre più automatica.

Pertanto, uno scopo intermedio della presente invenzione è quello di fornire un metodo di addestramento di una rete neurale ad uno specifico compito di riconoscimento e classificazione di difetti presenti su pezzi ottenuti mediante un processo industriale, che superi i limiti legati ai processi noti allo stato dell'arte, ed in particolare che consenta di ottenere alte prestazioni nel riconoscimento e classificazione dei difetti basandosi sul numero di pezzi effettivamente disponibili, dai quali acquisire immagini di addestramento. Il metodo deve quindi poter gestire anche il caso in cui il numero di pezzi effettivamente disponibili sia ridotto.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di rendere il metodo trasversale ai settori produttivi, ed in grado di affiancare il lavoro dell'operatore qualità addetto al controllo di prodotto, consentendogli di addestrare la rete neurale durante lo svolgimento corrente delle proprie attività.

Gli scopi prefissati per questa invenzione sono raggiunti mediante il ricorso ad uno flusso di lavoro metodologico finalizzato alla identificazione delle non conformità e dei difetti di tipo estetico o funzionale di prodotti industriali riscontrabili alla visione. In altre parole viene indicato un vero e proprio nuovo metodo di metodo di controllo qualità, essendo tale metodo comprensivo di passaggi che conducono alla sua automatizzazione.

La peculiarità di detto metodo di controllo qualità consiste nel fatto che è eseguito da un operatore come avviene in molti casi secondo la prassi corrente, tuttavia, le operazioni svolte dall'operatore sono affiancate da altre operazioni eseguite automaticamente, e l'interazione tra il flusso operativo eseguito dall'operatore, ed il flusso operativo eseguito automaticamente non richiede di rallentare o di

aggiungere elementi di complessità nelle operazioni che devono essere svolte dall'operatore.

In sintesi, la mediologia di controllo della qualità si basa su un flusso metodologico che, a fronte dell'acquisizione, in un formato digitale, dell'immagine di un pezzo, di cui si voglia analizzare l'eventuale presenza di difetti, comprende alcuni passi, eseguiti o da un operatore umano o da un programma predisposto per analizzare automaticamente detta immagine, e quest'ultimo, a sua volta, opera tramite elaborazioni dell'immagine acquisita eseguite servendosi di una "rete neurale". Tra questi passi metodologici, i seguenti devono essere considerati essenziali:

- ✓ analisi di detta immagine da parte di detto operatore al fine di individuare l'eventuale presenza di difetti;
- ✓ analisi di detta immagine, eseguita contemporaneamente anche per mezzo di detto programma predisposto per analizzare automaticamente detta immagine e per riscontrare la presenza o meno di difetti;
- ✓ per ogni difetto di cui detto operatore rilevi la presenza, detto operatore esegue le seguenti operazioni:
 - delimita, tramite un'opportuna interfaccia grafica, una regione, o un ritaglio, dell'immagine in cui detto difetto è presente,
 - sempre tramite un'opportuna interfaccia, assegna al difetto identificato un'etichetta che indica la tipologia di difetto, selezionandola tra una lista predeterminata di difetti possibili,
 - e, se detto difetto identificato non è presente in detta lista predeterminata, l'operatore provvede ed aggiornare detta lista aggiungendovi tale nuova tipologia di difetto, appena riscontrata;

- ✓ per ogni difetto la cui presenza è riscontrata da detto programma predisposto per analizzare automaticamente detta immagine, detto programma esegue le seguenti operazioni:
- delimita la regione, o un ritaglio, dell'immagine in cui detto difetto è presente,
 - classifica la tipologia di difetto identificato, attribuendogli un'etichetta selezionata dalla lista predeterminata di difetti possibili, essendo detta lista la stessa utilizzata dall'operatore che sta eseguendo l'analisi della medesima immagine;
- ✓ suddivisione di detta immagine, da parte di detto programma, in uno o più ritagli, in modo tale che:
- se detta immagine contiene uno o più difetti rilevati dall'operatore o dall'analisi automatica, i ritagli di figura che contengono i difetti rilevati dall'operatore o dall'analisi automatica vengono etichettati con le due etichette assegnate dalle due analisi, e, se solo una delle due analisi ha rilevato la presenza di difetto, la doppia etichettatura comprenderà un'etichetta che indica assenza di difetti ed un'etichetta corrispondente al difetto individuato, essendo possibile identificare quale etichetta è stata attribuita dall'analisi dell'operatore e quale etichetta è stata attribuita dall'analisi automatica, mentre tutti gli altri ritagli dell'immagine, che non contengono difetti, risultano classificati con un'etichetta che indica l'assenza di difetto;
 - se detta immagine non contiene difetti, tutti i ritagli sono classificati con un'etichetta che indica l'assenza di difetto, o con due etichette, entrambe che indicano assenza di difetti, ed attribuibili rispettivamente all'analisi automatica e all'analisi dell'operatore.

I passi metodologici indicati come essenziali ai fini di caratterizzare la presente invenzione raggiungono lo scopo di costruire un campione di addestramento per strumenti di analisi automatica delle immagini appartenenti alla famiglia, intesa in modo ampio delle “reti neurali”.

- 5 Inoltre, la costruzione di tale campione di addestramento non richiede all’operatore che esegue i controlli di qualità di effettuare alcun lavoro aggiuntivo. Anzi, l’interfaccia messa a disposizione dal sistema di acquisizione delle immagini digitali, semmai, facilita il compito dell’operatore per classificare e localizzare i singoli difetti che egli rileva.
- 10 Infine, gli algoritmi di addestramento possono essere attivati mentre l’operatore è al lavoro, dato che ogni singola immagine produce campioni di addestramento che possono essere usati sia per l’addestramento vero e proprio che per la validazione dell’addestramento raggiunto.

15 Questa invenzione presenta anche ulteriori vantaggi, che risulteranno più evidenti dalla descrizione seguente, che illustra ulteriori dettagli dell’invenzione stessa attraverso alcune forme di implementazione e dalle rivendicazioni allegate, che formano parte integrante della presente descrizione.

Descrizione dettagliata

20 Alla base dell’invenzione vi è la scelta di usare strumenti di analisi basati su “reti neurali”. Tale strumento, per eseguire automaticamente le proprie analisi sui diversi manufatti che devono essere di volta in volta controllati, non richiede programmazione, ma addestramento.

L’invenzione si basa sull’intuizione che il normale lavoro svolto dagli operatori di controllo qualità, nei casi in cui non sia disponibile un sistema di controllo

automatizzato pronto per essere impiegato, può essere sfruttato per provvedere all’addestramento di una “rete “neurale”.

L’invenzione, inoltre introduce un’altra innovazione metodologica nel processo di apprendimento: infatti l’addestramento classico delle reti neurali prevede di disporre di un insieme di addestramento molto numeroso che deve anche essere suddiviso in due sottoinsiemi da usare con funzioni diverse, mentre il procedimento secondo gli insegnamenti dell’invenzione sfrutta diversamente i dati di apprendimento prodotti dal lavoro dell’operatore, ed in definitiva necessita di una minor quantità di casi campione per supportare un addestramento soddisfacente.

Secondo la prassi nota, una “rete neurale” da addestrare viene sottoposta ad opportuni algoritmi di apprendimento che ottimizzano i suoi parametri in modo che la rete produca esiti simili a quelli dei campioni appartenenti ad un primo sottoinsieme di dati di addestramento; dopodiché un secondo sottoinsieme di dati di addestramento viene usato per validare, cioè per misurare, il livello di apprendimento raggiunto. Solo se la rete si comporta correttamente anche quando viene applicata sui dati di verifica, appartenenti a detto sottoinsieme di campioni di verifica, diversi da quelli usati per l’addestramento, è possibile ragionevolmente affermare che la rete è addestrata, e può essere utilizzata anche su nuovi dati.

Il procedimento secondo l’invenzione, utilizza un programma di analisi delle immagini che produce le proprie conclusioni sulla base di esiti forniti da una “rete neurale” che, almeno inizialmente, non è ancora addestrata. Le immagini che vengono analizzate da detto programma sono le stesse che vengono analizzate da un operatore di controllo qualità che, sulla base delle proprie conoscenze, valuta l’eventuale presenza di difetti sui manufatti che controlla.

Tale programma opera in parallelo al lavoro dell'operatore, quindi, ciascuna immagine relativa ad un campione di manufatto da analizzare viene di fatto utilizzata dapprima come campione di verifica.

Infatti, il risultato dell'analisi automatica di tale campione, che a sua volta dipende dagli esiti della "rete neurale" (che di tale programma costituisce il motore decisionale), viene confrontato con le classificazioni prodotte dall'operatore. Ogni campione viene quindi usato, di fatto, in prima battuta, come campione di verifica.

In un secondo tempo, dato che presumibilmente la "rete neurale", almeno inizialmente non è addestrata, e quindi è necessario proseguire con l'addestramento, i vari campioni acquisiti (corrispondenti alle decisioni dell'operatore che effettua il controllo di qualità) vengono usati per arricchire l'insieme di addestramento di ulteriori campioni.

Disponendo di un insieme di dati di addestramento, in cui ad ogni immagine, o ritaglio di immagine, è associata un'etichettatura (cioè un'etichetta che indica "assenza di difetto", oppure identifica una "tipologia di difetto"), può essere messo in pratica l'addestramento della "rete neurale", che viene condotto mediante un opportuno algoritmo di apprendimento, in genere diverso da caso a caso, a seconda del modello di "rete neurale" che viene adottato.

Si noti che i campioni di partenza prodotti dalla normale operatività dell'operatore che esegue il controllo di qualità, sono dapprima usati come campioni di test, e vengono poi trasformati in campioni addestramento della "rete neurale", dopo essere opportunamente formalizzati, suddividendo l'immagine acquisita in immagini più piccole, cioè dei ritagli, che rappresentano regioni, più piccole e di dettaglio (di dimensioni anche relativamente ridotte), dell'immagine iniziale complessiva.

Si osserva a questo proposito che non è possibile escludere il caso in cui non sia conveniente (o significativo) suddividere in ritagli l'immagine completa del manufatto sotto esame. Questa evenienza può verificarsi quando il difetto è grande al punto di occupare sostanzialmente tutto il manufatto, oppure quando il manufatto è già in partenza un pezzo molto piccolo. La metodologia, pertanto, deve prevedere anche il caso limite in cui la suddivisione dell'immagine di partenza in ritagli produce un solo ritaglio che coincide con l'immagine di partenza nella sua interezza.

In generale, comunque, la suddivisione delle immagini dei pezzi da controllare in ritagli consente di costruire un campione di addestramento più omogeneo ed efficace per l'addestramento. Infatti le immagini, o non contengono difetti, o contengono un difetto ben inquadrato nell'immagine da analizzare. In genere (escludendo i casi limite) sono immagini più piccole e semplici, e si riferiscono a particolari dell'oggetto da controllare, non all'oggetto nella sua interezza. Come già detto, alcuni di questi particolari, raffigurati nei singoli ritagli, sono privi di difetti visibili, altre parti del manufatto, invece, corrispondono alle zone dove è presente un difetto, e questo occupa sempre una parte significativa di un ritaglio dell'immagine nel suo complesso, quindi il difetto è generalmente evidente perché l'immagine campione (cioè il ritaglio) inquadra sostanzialmente tale difetto.

I criteri di suddivisione delle immagini, una volta che l'operatore ha inquadrato il difetto, possono essere automatizzati seguendo varie regole euristiche, a partire dalla zona con cui il difetto viene originariamente confinato dall'operatore attraverso un'interfaccia opportuna.

In alcuni casi, in cui il difetto è molto esteso; si consideri l'esempio di un lungo graffio su una superficie che deve avere una finitura omogenea: questo, per comodità, può essere inquadrato in un insieme di ritagli adiacenti in cui l'immagine acquisita viene

suddivisa, ed ognuno di questi ritagli può essere classificato con un'etichetta corrispondente al difetto "graffio", o "spezzone di un graffio".

Un'altra caratteristica interessante del campione così costituito è data dal fatto che il campione complessivo risulta, in generale, più numeroso di un campione costruito direttamente con le immagini complessive del manufatto; la cosa è evidente in quanto ogni immagine viene suddivisa in una pluralità di immagini più piccole (detti anche ritagli dell'immagine originale).

Tipicamente, gli insiemi di addestramento così costruiti comprendono un gran numero di campioni corrispondenti ad immagini (cioè porzioni delle immagini originali acquisite) il cui l'etichettatura corrisponde all'assenza di difetti. Del resto, in un contesto manifatturiero tipico, ci si aspetta che i difetti non siano troppo frequenti e, laddove presenti, essi interessino solo una parte del manufatto, mentre la maggior parte del manufatto dovrebbe essere senza difetti.

In questo modo la "rete neurale" viene addestrata bene (perché sono disponibili molti campioni di tale tipo) a riconoscere tutti i casi di assenza di difetti, classificandoli tutti allo stesso modo, distinguendoli dai casi particolari in cui, in una certa regione del manufatto è presente un'anomalia che deve essere classificata diversamente, ossia con un'etichetta riguardante un difetto, e che comporta l'isolamento del pezzo con tale anomalia (o difetto).

In sintesi, i dati di addestramento sono costruiti ed utilizzati in modo estremamente innovativo, in quanto sono formalizzati in modo da aumentarne la loro numerosità e la loro rappresentatività (rispetto a ciò che si cerca, cioè la presenza o meno di anomalie), ed in quanto vengono usati sia per il test sullo stato dell'apprendimento e sia per l'addestramento vero e proprio.

Tale flusso metodologico è in grado di confluire in dispositivi fisici che implementano un sistema di ausilio al controllo di pezzi prodotti da un processo industriale.

Tramite tale sistema, pertanto, è possibile condurre una rilevazione automatizzata dei difetti; e tale sistema, dopo la fase di addestramento della “rete neurale”, può teoricamente condurre i suddetti controlli anche senza più il bisogno di un operatore.

Infatti, l’operatore è chiamato ad eseguire i controlli analizzando i singoli pezzi distinguendoli tra quelli buoni e quelli da scartare fintanto che il programma di analisi automatica, che si basa sugli esiti di una “rete neurale”, produce risultati difformi da quelli dell’operatore. Tuttavia, man mano che la rete viene addestrata, la precisione degli esiti automatici aumenta (e tale precisione è valutabile oggettivamente, alla prova dei fatti), finché, ad un certo punto, il programma può essere fatto funzionare da solo, perché si è potuto riscontrare che è in grado di produrre decisioni sempre corrette.

In una forma di implementazione particolarmente interessante della metodologia secondo l’invenzione, si prevede anche la gestione di alcuni casi limite.

Si è detto infatti che il giudizio dell’operatore non è necessariamente oggettivo in senso assoluto, e possono esistere alcuni casi, quando la “rete neurale” è già quasi addestrata, in cui vi sia un esito difforme tra la valutazione dell’operatore e l’esito del programma di analisi.

Se tale difformità di esito si verifica a fronte di un difetto o di un’imperfezione di lieve entità, tale che la decisione se scartare il pezzo o classificarlo come buono sia incerta anche per l’operatore, è possibile prevedere un riesame del caso, in modo da gestirlo appropriatamente anche rispetto all’uso di tale caso per farlo confluire o meno nell’insieme campione da usare per l’apprendimento.

Un trattamento possibile di questo caso potrebbe consistere semplicemente nello scartare i campioni riferiti a tale difetto, perché potrebbero contribuire ad una ipersensibilizzazione della “rete neurale” che non giova ad instaurare criteri di apprendimento chiari. Un’altra forma di trattamento del dato potrebbe invece consistere in un ripensamento da parte dell’operatore (che potrebbe cambiare il proprio giudizio, riconoscendo, nella sua valutazione, una diversità di trattamento rispetto a casi precedentemente analizzati). Oppure, il caso potrebbe essere gestito come tutti gli altri, e la “rete neurale” correggerà i propri parametri tenendo conto anche di tali casi controversi.

In un’altra forma di implementazione particolarmente interessante, si prevede che la metodologia secondo l’invenzione venga condotta affiancando al controllo eseguito dall’operatore una pluralità di controlli automatici, effettuati da diversi programmi basati ciascuno su una diversa “rete neurale”, e non limitandosi all’impiego di un solo programma di analisi automatica, basato su una sola specifica tipologia di “rete neurale”.

Il senso di questo modo di procedere è dato dal fatto che i risultati che si ottengono mediante l’addestramento di “reti neurali” sono spesso sorprendenti in senso positivo, e sono assai numerosi i casi di applicazione dello strumento delle “reti neurali” in cui queste imparano a prendere decisioni corrette con grandissima affidabilità. Tuttavia, tali casi di funzionamento positivo non sono purtroppo la regola, e l’addestramento di una “rete neurale” non sempre porta ai risultati sperati, ed allora il progettista del sistema che intende avvalersi di tale strumento deve intervenire cambiando la tipologia di rete usata, o l’architettura della rete, o anche solo la sua dimensione. L’esperienza maturata nell’applicazione delle “reti neurali” è ormai abbastanza consolidata, pertanto, in funzione del tipo di applicazione e della

dimensione dei dati in ingresso è possibile suggerire le tipologie di rete più idonee, nonché la loro architettura e dimensione, tuttavia, data anche la diversità di manufatti che teoricamente possono essere oggetto di controllo, e la varietà di difetti possibili, non è così scontato che vi sia una sola tipologia di “rete neurale” che può funzionare bene in tutti i casi.

Questo potenziale problema può essere risolto addestrando contemporaneamente un significativo numero di diverse “reti neurali”, scegliendo poi quella che converge più rapidamente, e meglio, verso uno stato di apprendimento soddisfacente.

Le potenze di calcolo ormai disponibili su macchine a costo relativamente basso, unite all’efficienza degli algoritmi di apprendimento che la tecnica nota mette a disposizione, fanno sì che non costituisca assolutamente un problema l’addestramento in parallelo di molte “reti neurali” diverse. Non è quindi affatto irrealistico pensare di addestrare in parallelo una pluralità di “reti neurali” nell’ordine della decina o delle poche decine, anzi, quest’ultima scelta (cioè addestrare contemporaneamente diverse “reti neurali”) deve senza dubbio essere considerata una delle forme di implementazione preferite del metodo secondo l’invenzione.

Giova a questo punto osservare, che la generazione di un esito mediante una simulazione condotta con strumenti di calcolo basati su “reti neurali” costituisce un processo di calcolo estremamente veloce che può essere eseguito in tempo reale mentre l’operatore esegue le sue ispezioni visive, cosicché il risultato dell’analisi automatica può essere confrontato in tempo reale con l’esito delle ispezioni condotte dall’operatore.

Il processo di calcolo associato all’addestramento di una “rete neurale”, invece, è un processo iterativo che può richiedere tempi di elaborazione più lunghi dei tempi necessari per le ispezioni; se poi si intende addestrare in parallelo numerose reti e

se non si dispone di capacità di calcolo particolarmente potenti (che potrebbero far lievitare inutilmente i costi della piattaforma), l'addestramento, tipicamente, non avviene in tempo reale, ovvero la "rete neurale" risulta addestrata con un ritardo significativo rispetto all'acquisizione dell'ultimo campione di addestramento utilizzato, l'ordine di grandezza di tale ritardo può essere quantificato tra le decine di minuti e le poche ore.

Tuttavia, l'addestramento della, o delle, "reti neurali", pur essendo condotto in parallelo alle ispezioni da parte dell'operatore, è un processo che può continuare anche al di fuori degli orari di lavoro e produrre "reti neurali" opportunamente addestrate con un certo ritardo rispetto alla produzione dei dati di addestramento.

Questo ritardo, comunque, non è mai eccessivo rispetto agli scopi dell'invenzione e, se da un lato preclude un addestramento in tempo reale, non crea certo alcun problema all'applicazione della piattaforma per il controllo della qualità, e nel perseguitamento degli scopi dell'invenzione.

Ciò che conta è che, non appena si riscontra che un processo di apprendimento ha condotto alla definizione di una "rete neurale" che produce esiti allineati a quelli prodotti dall'operatore, il programma di analisi automatica sia predisposto, a partire da un certo momento in poi, per funzionare autonomamente, senza la necessità di coinvolgere l'operatore ulteriormente.

Il metodo di esecuzione di controllo della qualità secondo gli insegnamenti dell'invenzione è un metodo la cui applicazione è, per sua natura, transitoria. Infatti, l'innovazione metodologica riguarda lo sfruttamento di un controllo classico con operatore allo scopo di addestrare un programma di controllo qualità capace di operare autonomamente in automatico. Dopodiché, il controllo qualità avviene in modo automatico, come del resto avviene in alcuni casi noti.

La differenza sta nel fatto che, mentre i casi di applicazione noti sono applicabili solo a produzioni molto numerose, stabili e ripetitive sul lungo periodo, gli insegnamenti dell'invenzione consentono la messa a punto di programmi di analisi automatica, anche in contesti produttivi che, seguendo la prassi nota, sono esclusivamente gestiti con controlli eseguiti da operatore, essendo di fatto antieconomico predisporre programmi efficaci di analisi automatizzata.

Anche se i concetti essenziali che caratterizzano l'invenzione sono stati già sostanzialmente esposti, si ripercorrono di seguito le principali fasi della metodologia secondo l'invenzione, offrendo un ulteriore esempio di applicazione pratica della metodologia stessa. Esempio che permetterà di apprezzare sia l'efficacia che la fattibilità pratica dell'invenzione.

Per ogni specifica tipologia di produzione il cui controllo di qualità possa avvenire attraverso un'ispezione visiva, viene definita una pluralità di classi di difetto (i.e. di differenti tipologie di difetto che possono essere riscontrate nei pezzi in esame). All'interno della pluralità di classi di difetto viene creata anche la classe etichettata come "assenza di difetto", cui verranno associate le parti di immagine che non comprendono difetti. Si osserva che tale fase è imprescindibile, sia che il controllo di qualità avvenga tramite operatore, e sia che avvenga automaticamente, pertanto non si tratta di un'operazione che comporta un aggravio operativo per implementare la metodologia secondo l'invenzione.

Convenientemente queste classi di difetto vengono create dall'utente mediante strumenti presenti in una apposita interfaccia grafica per utente, e a ciascuna classe di difetto è associata una etichetta alfanumerica univoca; convenientemente a ciascuna etichetta viene poi associato anche un colore di visualizzazione che facilita la rapida identificazione.

Man mano che inizia il controllo qualità da parte dell'operatore, vengono acquisite le immagini dei singoli pezzi da esaminare, cosicché l'operatore li può esaminare anche a video e, mediante una apposita interfaccia grafica, può definire le dimensioni di una griglia che viene utilizzata per suddividere ciascuna immagine in ritagli rettangolari di dimensione ridotta. Preferibilmente le dimensioni delle porzioni in cui l'immagine viene suddivisa per mezzo della griglia non sono identiche per tutte le immagini, ma sono ottimizzate per ciascuna immagine in funzione dei difetti effettivamente presenti, in modo tale che all'interno di ogni singolo ritaglio c'è esattamente una sola tipologia di difetto.

A questo punto l'operatore procede alla etichettatura dei così detti ritagli dell'immagine acquisita, assegnando la corretta etichetta ai ritagli in cui è presente un difetto, mentre nei ritagli corrispondenti a pezzi di immagine in cui non vi sono difetti, viene automaticamente associata l'etichetta "assenza di difetto".

Si ottiene in questa maniera un insieme di dati costituito da una pluralità di coppie, ciascuna costituita da un'immagine rettangolare (corrispondente ad un ritaglio di un'immagine di partenza) e da una specifica etichetta che indica la tipologia di difetto presente in tale immagine o, in alternativa, l'etichetta indicativa di "assenza di difetto".

È evidente che operando in questa maniera il numero dei ritagli (cioè delle coppie campione costituite da un'immagine ed un'etichetta) è largamente superiore al numero delle immagini di partenza disponibili.

Da questo punto in poi è possibile utilizzare l'insieme di tali coppie campione per provvedere all'addestramento di una "rete neurale" secondo l'utilizzo standard di tale strumento. Nel caso di specie possono essere utilizzate tipologie di "rete

neurale” di tipo convoluzionale (CNN: Convolutional Neural Network), che sono particolarmente adatte ad applicazioni di analisi di immagini.

Non ci si dilunga, nell’ambito di tale esposizione sulle modalità di addestramento di una “rete neurale”. Infatti, le procedure di addestramento sono tecniche ampiamente note e consolidate oramai da decenni. L’unica osservazione che viene rimarcata, perché introduce un utilizzo innovativo dei dati prodotti dall’operatore per la costruzione dei dati di addestramento, riguarda il fatto che, prima ancora sfruttare le informazioni per la costruzione dei dati di addestramento, il sistema preposto all’analisi automatica (ovvero il programma di analisi automatica della qualità), che come detto si basa sull’uso di una “rete neurale”, viene testato con i dati che sono man mano prodotti dall’operatore, anche se la “rete neurale” (che di tale sistema di analisi è il cuore decisionale), in quel particolare momento, non risulta ancora addestrata.

Si osserva che questo calcolo preliminare condotto attraverso la “rete neurale” non ancora completamente addestrata, non comporta oneri computazionali significativi (se confrontati con gli oneri computazionali richiesti per l’addestramento), ma offre un’opportunità di test precoce, che permette di accorgersi velocemente quando il programma comincia ad essere pronto per operare in autonomia.

In alcune forme di implementazione, che possono essere implementate con flessibilità, è possibile anche prevedere una fase di operatività mista, in cui l’operatore continua ad eseguire le proprie ispezioni ma, consapevole di disporre di un programma automatico che sta progressivamente affinando la propria precisione, egli effettua un doppio controllo nei casi in cui il suo giudizio sia difforme rispetto all’esito automatico.

In particolare, le prime applicazioni della metodologia in contesti manifatturieri reali hanno mostrato, come era prevedibile, che il processo di apprendimento di molte “reti neurali” è graduale: esse spesso apprendono velocemente e con ottima affidabilità a riconoscere le immagini con assenza di difetti, mentre il processo di apprendimento per classificare correttamente i vari difetti, in genere, richiede un addestramento più lungo.

Questo fenomeno è prevedibile in quanto le immagini con assenza di difetti sono più frequenti, mentre alcune specifiche tipologie di difetti sono certamente più rare e quindi l'apprendimento per riconoscere tali difetti risulta fatalmente più lento.

Tuttavia, la particolare articolazione della metodologia secondo l'invenzione consente di sfruttare vantaggiosamente questa gradualità nell'apprendimento. Infatti, è possibile verificare in tempo reale (cioè mentre la rete neurale è sottoposta all'apprendimento) quando la rete comincia a funzionare correttamente per identificare solo l'assenza o la presenza di anomalie, a prescindere dal fatto che etichetti correttamente o meno le anomalie.

Pertanto, non appena si ritiene che l'analisi automatica sia sufficientemente affidabile nel riconoscimento dei pezzi privi di difetti, essa può essere condotta in autonomia, e l'operatore può essere coinvolto per completare l'analisi esaminando solo i pezzi difettosi, allo scopo di classificare correttamente il difetto rilevato.

In questo modo, l'operatore viene velocemente (perché si è visto che veloce è il processo di apprendimento necessario per riconoscere i pezzi privi di difetti) sgravato di una notevole quantità di lavoro; e soprattutto viene sollevato dal lavoro più noioso e ripetitivo, essendo impegnato solo nell'esame pei pezzi in cui è richiesta la sua competenza specifica. Nel tempo che l'operatore risparmia, egli può

essere più proficuamente impegnato per svolgere altre attività, che possono essere condotte parallelamente.

Varianti e Considerazioni conclusive

In sintesi, gli insegnamenti della presente invenzione consentono di soddisfare gli scopi per cui è stata concepita sfruttando in modo inedito almeno tre intuizioni di contenuto tecnico.

✓ La prima intuizione consiste nel fatto di riconoscere che il risultato di un controllo qualità eseguito da un operatore, oltre ad essere sfruttato per gestire il processo di qualità, in quanto tale, è anche utilizzabile per ricavare un insieme di addestramento per una o più “reti neurali”. Essendo possibile condurre tale addestramento anche con insiemi di dati di addestramento che si incrementano continuamente; per cui, potenzialmente, le iterazioni di addestramento (dette in gergo epoches di addestramento) sono condotte ogni volta con insiemi di dati sempre più numerosi, e sempre più significativi.

✓ La seconda intuizione deriva dal fatto che l'esecuzione pratica dei controlli da parte dell'operatore, essendo basati su un'immagine acquisita digitalmente, fanno sì che egli riporti su tale immagine le conclusioni della sua analisi, evidenziando ed etichettando le anomalie che egli riscontra. Tale operatore fornisce pertanto anche altre utili informazioni (sulla posizione e sulla dimensione dei difetti riscontrabili visivamente) che consentono di suddividere l'immagine complessiva del pezzo esaminato in ritagli particolarmente significativi ed efficaci in sede di addestramento di una “rete neurale”.

Tali informazioni consentono di pervenire alla creazione, peraltro facilmente automatizzabile, di immagini più piccole (quindi di più agevole trattamento) e più numerose, nelle quali, o non c'è alcuna anomalia (auspicabilmente la

maggioranza), oppure l'anomalia c'è ed è particolarmente evidente in quanto ben inquadrata nel ritaglio. L'operatore pertanto, non solo identifica i pezzi da isolare perché difettosi, ma, nell'esercizio del proprio compito, fornisce anche informazioni molto importanti per costruire un campione di addestramento con un formato particolarmente vantaggioso.

- 5 ✓ La terza intuizione consiste nel fatto che un programma di analisi di immagini basato su esiti prodotti da una "rete neurale" può essere fatto funzionare anche se la rete non è addestrata e può sempre essere eseguito in parallelo ai controlli dell'operatore. Cosicché se il comportamento del programma non è allineato con quello dell'operatore (da cui la rete dovrebbe apprendere), significa semplicemente che la rete non è addestrata in modo soddisfacente. E dal momento che tale forma di test avviene su un dato, prima che questo sia stato usato per confluire nell'insieme di addestramento, evidentemente, si tratta di un test significativo.

10 15 L'attività inventiva associata alle suddette tre intuizioni consiste nel fatto che, la metodologia insegnata permette di attuare un controllo qualità per ispezione visiva in modo automatico, in moltissimi casi in cui questo non è di fatto possibile o conveniente, almeno affidandosi alle metodologie note.

20 Si ricorda che i processi di controllo qualità in ambito manifatturiero sono uno dei più importanti processi industriali che riguardano tale ambito, ed il fatto di poterli convenientemente automatizzare costituisce un vantaggio significativo, ma che sino ad oggi non è stato sfruttato in modo diffuso. Infatti, di fronte ai problemi tecnici posti dal tentativo di automatizzare i processi di controllo qualità (in particolare i controlli basati su ispezione visiva) molti esperti del settore si sono arresi.

Tale nuovo metodo di controllo qualità risolve di fatto vari problemi tecnici che attengono ai processi manifatturieri nel loro complesso. Infatti l'automatizzazione consente di accelerare i tempi di controllo, di rendere oggettivi i controlli, di lavorare più efficientemente e, in definitiva, migliora la qualità generale dei processi manifatturieri.

Il metodo insegnato nella presente invenzione è passibile di implementazione in molteplici forme e varianti, soprattutto per la sua intrinseca propensione ad integrarsi con altri sistemi aziendali.

Ad esempio, l'interfaccia operatore può essere implementata in molti modi ma, presumibilmente, nelle forme di implementazione preferite, il metodo insegnato nell'invenzione sarà strettamente integrato nei sistemi aziendali deputati al controllo di gestione in senso lato o, in generale, nei sistemi dedicati al monitoraggio dei processi manifatturieri; in tal caso l'implementazione della metodologia secondo l'invenzione può convenientemente condividere con questi altri sistemi le interfacce verso l'operatore e verso gli altri strumenti informatici aziendali.

Il punto di forza della presente invenzione è destinato a mantenere la sua rilevanza distintiva ancora per un tempo significativo, in quanto si basa su alcune intuizioni inedite che consentono di sfruttare in modo nuovo dati prodotti per altri motivi. E tale sfruttamento innovativo delle informazioni produce risultati non noti allo stato dell'arte, che possono migliorare in modo rilevante i processi produttivi di aziende manifatturiere.

L'invenzione descritta, inoltre, non si limita a produrre il classico esito dei processi di controllo qualità, infatti fornisce le informazioni sostanziali ed essenziali per procedere ad affinamenti successivi dei processi produttivi, perché produce una ricca base dati informatizzata, descrittiva dei processi di produzione.

Tali dati così disponibili (cioè codificati in un formato informatico) potrebbero essere usati anche per indicare su quali lavorazioni, o su quali processi produttivi, intervenire per migliorare la produzione, magari attingendo a soluzioni adottate in altre lavorazioni apparentemente diverse, o effettuate in altri centri di lavoro: casi, 5 questi ultimi, in cui il trasferimento di competenze, e di esperienze, risulta spesso rallentato.

Pertanto, soprattutto nel contesto di tali scenari evolutivi, l'invenzione si presta ad incorporare e supportare ulteriori sforzi di sviluppo e perfezionamento, capaci di migliorare, o aumentare, le prestazioni dell'invenzione come descritta alla luce degli 10 scenari attuali.

Quindi, sviluppi ulteriori potrebbero essere apportati dall'uomo esperto del ramo senza per questo fuoriuscire dall'ambito dell'invenzione quale essa risulta dalla presente descrizione e dalle rivendicazioni qui allegate che costituiscono parte integrante della presente descrizione; oppure, qualora detti sviluppi non risultino compresi nella presente descrizione, possono essere oggetto di ulteriori domande 15 di brevetto associate alla presente invenzione, o dipendenti da essa.

TITOLO: METODO DI AUTOMATIZZAZIONE DEI PROCESSI DI CONTROLLO
QUALITA' IN AMBITO MANIFATTURIERO

RIVENDICAZIONI

1. Un metodo di controllo qualità finalizzato alla identificazione delle non
5 conformità e dei difetti di tipo estetico o funzionale di manufatti industriali
riscontrabili alla visione,

in cui detto metodo consiste nel fatto che comprende operazioni svolte da un
operatore umano, affiancate da altre operazioni eseguite automaticamente,
comprendo anche le seguenti fasi:

10 a. acquisizione, in un formato digitale, dell'immagine di un pezzo di cui si
intende analizzare l'eventuale presenza di difetti,

b. analisi di detta immagine da parte di detto operatore umano al fine di
individuare l'eventuale presenza di difetti;

c. analisi di detta immagine, anche per mezzo di un programma predisposto
15 per analizzare automaticamente detta immagine in un formato digitale e
per riscontrare la presenza o meno di difetti, in cui tale programma, a sua
volta, opera elaborando l'immagine acquisita, avvalendosi di una "rete
neurale";

d. per ogni difetto di cui detto operatore individua la presenza, detto
20 operatore esegue le seguenti operazioni:

- delimita, tramite un'opportuna interfaccia grafica, una regione, o un
ritaglio, dell'immagine in cui detto difetto è presente,

- sempre tramite un'opportuna interfaccia, assegna al difetto
identificato un'etichetta che indica la tipologia di difetto,

25 selezionandola tra una lista predeterminata di difetti possibili;

e. per ogni difetto la cui presenza è riscontrata da detto programma predisposto per analizzare automaticamente detta immagine, detto programma è configurato per eseguire le seguenti operazioni:

- delimitare la regione, o un ritaglio, dell'immagine in cui detto difetto è 5 presente,
- classificare la tipologia di difetto identificato, attribuendogli un'etichetta selezionata dalla lista predeterminata di difetti possibili, essendo detta lista la stessa utilizzata dall'operatore che esegue l'analisi della medesima immagine;

10 f. suddivisione di detta immagine, da parte di detto programma, in uno o più ritagli, in modo tale che:

- se detta immagine non contiene difetti tutti i ritagli sono classificati con un'etichetta che indica l'assenza di difetti,
- se detta immagine contiene uno o più difetti rilevati dall'operatore o 15 dall'analisi automatica, i ritagli di figura che contengono i difetti rilevati dall'operatore o dall'analisi automatica vengono etichettati con le due etichette assegnate dalle due analisi, e, se solo una della due analisi ha rilevato la presenza di difetto, la doppia etichettatura comprenderà un'etichetta che indica assenza di difetti ed un'etichetta 20 corrispondente al difetto individuato, essendo possibile identificare quale etichetta è stata attribuita dall'analisi dell'operatore e quale etichetta è stata attribuita dall'analisi automatica, mentre tutti gli altri ritagli dell'immagine, che non contengono difetti, risultano classificati con un'etichetta che indica l'assenza di difetti.

2. Metodo di controllo qualità secondo la rivendicazione 1 che comprende anche una fase di creazione di un insieme di addestramento per “reti neurali” in cui ciascun campione comprende una coppia di informazioni ingresso uscita in cui:

- 5 - l’ingresso è costituito da un ritaglio di immagine creato a partire dalle immagini acquisite come indicato al punto “a.” della rivendicazione 1, e mediante la successiva suddivisione operata come indicato al punto “f.” della rivendicazione 1, e
- 10 - l’uscita è costituita dall’etichetta attribuita dall’operatore come indicato al punto “d.” della rivendicazione 1, o da un’etichetta che indica l’assenza di difetti, nel caso in cui in ritaglio considerato non sia stato selezionato dall’operatore perché non vi ha riscontrato la presenza di un difetto visibile.

3. Metodo di controllo qualità secondo la rivendicazione 1 in cui, se

- 15 - l’analisi condotta dall’operatore, come indicato al punto “b.” della rivendicazione 1, e
- l’analisi condotta per mezzo di detto programma predisposto per analizzare automaticamente detta immagine in un formato digitale, come indicato al punto “c.” della rivendicazione 1,
- 20 forniscono riscontri diversi riguardo la presenza di eventuali difetti, l’operatore ripete il punto “b.” della rivendicazione 1, che consiste nella ripetizione dell’analisi della medesima immagine, potendo egli o confermare l’esito fornito a seguito della prima analisi, oppure modificare tale esito.

4. Metodo di controllo qualità secondo la rivendicazione 2 in cui detto un insieme di addestramento per “reti neurali” viene utilizzato per addestrare contemporaneamente una pluralità di “reti neurali”.