RAGGI X & CONTROLLO QUALITA'

1 COSA SONO I RAGGI X

1.a Principio di formazione dei raggi X

In questa sezione andremo ad analizzare la tecnologia a raggi X e come questa giochi un ruolo di rilevanza nella nostra quotidianità, addirittura più di quanto generalmente si possa immaginare.

Quando si sente la parola raggi X viene subito in mente l'ambito medico, ma in questa sezione ci poniamo l'obiettivo di esaminare la loro natura e i metodi di produzione, inoltre faremo notare come i raggi X sono diffusi in altri contesti.

- **Radiazioni e sorgenti di radiazioni**

Iniziamo questa trattazione con la definizione generale delle radiazioni, ossia un agente che trasporta energia da un punto ad un altro attraversando lo spazio o la materia. Il percorso della radiazione sarà condizionato dalle interazioni della radiazione con la materia che incontra. Ci sono due tipi di radiazioni: radiazioni costituite da particelle che trasportano energia sotto forma di energia cinetica (elettroni, protoni, neutroni, particelle alfa, ecc.) e radiazioni elettromagnetiche (E.M.) che trasportano energia senza la presenza di particelle aventi massa (onde radio, luce visibile e raggi X).

Il concetto di radiazione elettromagnetica (E.M.) non è semplice da comprendere, consiste nel trasporto di energia in quantità discrete chiamate “quanti” di energie, o fotoni (particelle di massa 0). I differenti tipi di radiazione elettromagnetiche sono: onde radio, microonde, infrarosso, luce visibile, luce ultravioletta, raggi X e raggi gamma. L'unica differenza fra questi tipi di radiazioni elettromagnetiche è la quantità di energia del fotone.

Due importanti caratteristiche della radiazione elettromagnetica sono: la traiettoria rettilinea e la capacità di attraversare gli oggetti. La quantità di materiale che la radiazione può attraversare dipende dalla composizione del materiale e dall'energia della radiazione. Le radiazioni di bassa energia (come la luce visibile) non penetrano molto profondamente, ma i raggi X a più alta energia ed i raggi gamma possono attraversare notevoli spessori. Queste due caratteristiche (penetrazione e traiettoria rettilinea) sono particolarmente evidenti nell'analisi radiografica. Quando i raggi X penetrano in un oggetto, alcuni interagiscono con l'oggetto stesso, ma i rimanenti, sempre viaggiando in linea retta e colpendo una superficie sensibile ai raggi, possono produrre un'immagine che dà indicazioni della dimensione, della struttura e della composizione interna dell'oggetto.

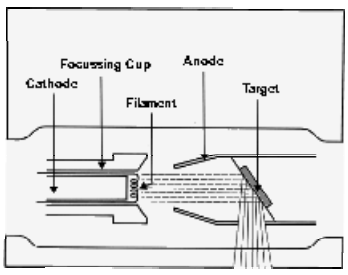
- **La produzione dei raggi**

I raggi derivano dal frenamento di elettroni ad alta velocità quando entrano in una sostanza. Questo processo avviene in modo controllato in un tubo per raggi X. In un tubo per raggi X, gli elettroni sono accelerati in modo da raggiungere un'alta velocità e poi fatti urtare contro un “ bersaglio”. L'interazione fra gli elettroni incidenti e gli atomi del bersaglio determinano la formazione dei raggi X. L'energia totale dell'elettrone incidente sarà convertita in fotoni X e in calore. L'efficienza di produzione dei raggi X è molto bassa, infatti solo 1% dell'energia cinetica prodotta incidente diventa raggi X, il resto si trasforma in calore. E' per questo necessario raffreddare costantemente il tubo tramite aria o liquidi.

- **Costruzione di un tubo per raggi X**

Un moderno tubo a raggi X è concettualmente un dispositivo realmente semplice ma è complicata la tecnologia per costruirlo. Come mostrato in figura qui sotto il tubo è costituito da un involucro di vetro sotto vuoto, contenente un catodo ed un anodo. Elettroni liberi sono emessi dal catodo e sono accelerati verso l'anodo. Gli elettroni che raggiungono l'anodo avranno diverse energie dipendenti dal valore del voltaggio nel momento in cui essi passano attraverso il tubo.

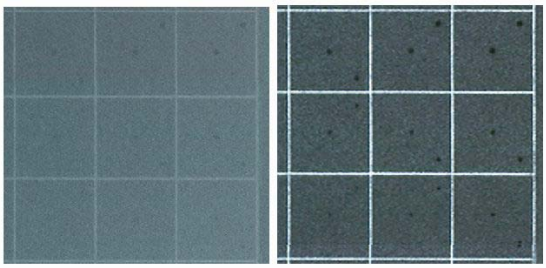
La zona del bersaglio che è colpita dagli elettroni provenienti dal catodo produce raggi X ed e' chiamata “macchia focale”. Dando al catodo una forma opportuna, gli elettroni possono essere inviati sul bersaglio in modo che la macchia focale possa avere la forma e la grandezza desiderate. La macchia focale dovrebbe essere la più piccola possibile in modo da ottenere una buona risoluzione dei dettagli dell'oggetto.



X-Ray Tube

1.b Principi di formazione dell'immagine

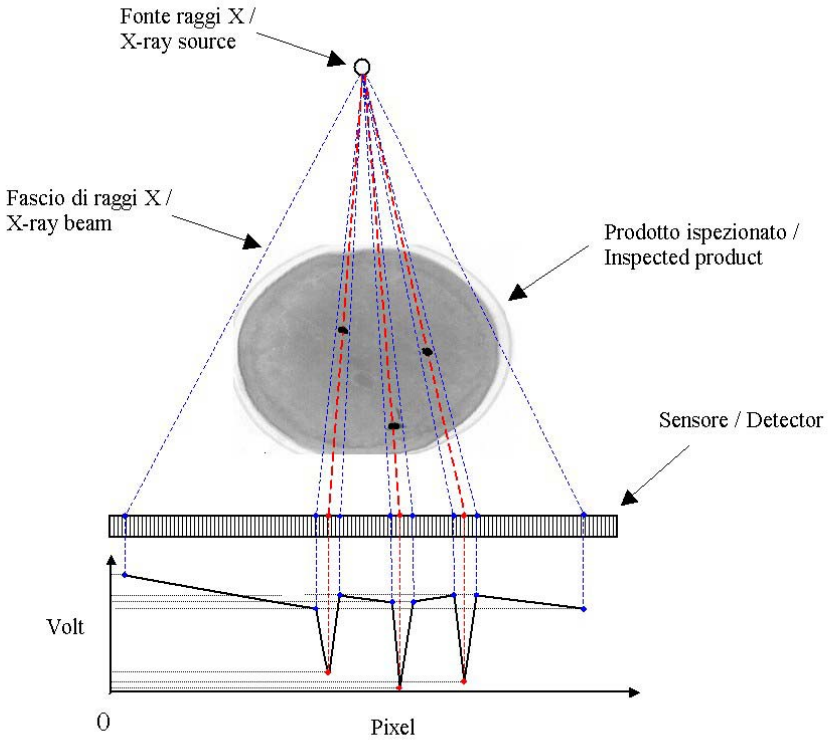
I raggi X sono generalmente invisibili e viaggiano alla velocità della luce. Sebbene questi non possano essere rilevati per mezzo di lenti o prisma, il fascio di raggi X può essere rilevato da particolari materiali in grado di convertire la loro lunghezza d'onda in quella della luce visibile.
Viene qui in essere il principio delle macchine a raggi X:
Il fascio di raggi X generato dal tubo va a colpire un elemento che ne carpisce l'intensità. Questo elemento in una prima fase storica era una lastra sensibile ai raggi X, oggi diverse tecnologie trovano spazio in questo settore.
Il punto di partenza di tutte le nostre analisi è la frapposizione di un corpo solido fra la fonte e la destinazione dei raggi X.
I raggi X sono fotoni come quelli della normale luce visibile, soltanto hanno più energia e una lunghezza d'onda minore.
Questo processo ha la conseguenza che la luce non passa attraverso il corpo perché il corpo è "troppo spesso", mentre i raggi X che hanno sufficiente energia riescono a farlo.
A questo punto è facile intuire come mai nelle lastre (vedi disegno qui sotto riportato), quando si interpone un corpo fra fonte e destinazione dei raggi X, ci sono parti più scure e parti più chiare: le zone della lastra colpite dai raggi X diventano più scure. Questo significa che parti diverse della lastra ricevono differenti quantità di raggi X.



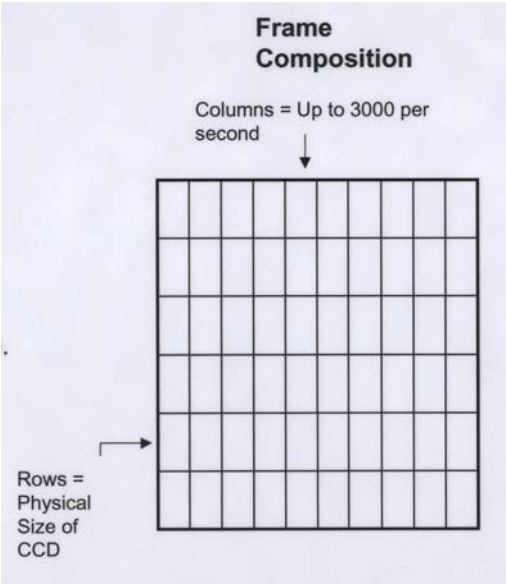
Questo spiega anche un'altra cosa: Ogni volta che c'è più materia, sia che il corpo sia più spesso, sia che abbia maggiore densità, arrivano meno raggi X. Ad esempio nel campo medico, le ossa appaiono più chiare nelle immagini perché sono più dense del resto del corpo ed attenuano la quantità di raggi che colpiscono la lastra.
Infatti, nelle panoramiche le otturazioni appaiono bianche poiché il metallo è molto denso e passano pochi raggi.

1.c Immagini Digitali

Per circa 100 anni le radiografie convenzionali hanno utilizzato le pellicole per catturare i raggi X e, mediante opportuni trattamenti chimici, giungevano ad immagini utilizzabili ai fini diagnostici.
Solo recentemente è diventato tecnicamente possibile ed economicamente sostenibile utilizzare tecnologie elettroniche per sostituire le pellicole ed ottenere visualizzazione, archiviazione e trasmissione di immagini.
Inoltre, negli ultimissimi anni, sul mercato dell'imaging, si è affacciato qualche cosa di radicalmente innovativo, offrendo un nuovo standard nelle tecnologie di acquisizione dei raggi X: i sensori digitali per raggi X di tipo lineare e matriciale
I sensori lineari (512 pixel, ovvero 512 unità elementari del sensore di dimensioni 0,4 mm per 0,4 mm) permettono di ottenere 512 rilevazioni di raggi X lungo una linea, mentre i sensori matriciali (512 x 512 pixel) riescono ad ottenere 512 x 512 rilevazioni di raggi X per area quadrata. E' a questo punto facile capire come la qualità delle immagini ottenute sia notevolmente migliorata.
Le immagini digitali sono caratterizzate dal fatto che il segnale, prima di essere utilizzato per la generazione dell'immagine, subisce un processo di conversione da analogico a digitale, in modo che solo un numero discreto di valori possa essere rappresentato sull'immagine finale.
Per meglio capire il processo, riportiamo la descrizione di quanto avviene nella figura qui sotto: un fascio di raggi X investe un corpo con all'interno parti più e meno dense. Il fascio di raggi dopo aver attraversato la materia va a depositarsi su un sensore composto da tanti pixel con carica in stato 0. La quantità di raggi X ricevuta viene tramutata dal pixel in carica elettrica, quindi il numero di cariche elettriche risultanti sarà tanto più elevato quanto il pixel del sensore riceverà raggi X.
In sintesi, se il fascio di raggi X non attraversa materia il pixel del sensore convertirà il segnale con picco massimo di carica elettrica e nel punto in cui fascio attraversa il punto più denso della materia il pixel del sensore convertirà il segnale nel picco minimo di carica elettrica.



Le informazioni che provengono dagli elementi sensibili (CCD) sono immagazzinati nella memoria del PC attraverso una scheda di acquisizione immagini. Questa acquisizione avviene componendo i dati in righe e colonne. Mentre le righe sono equivalenti alle dimensioni fisiche di ogni elemento sensibile, le colonne rappresentano l'elaborazione delle informazione provenienti all'area sensibile in un arco di tempo ben determinato.
Le macchine sono capaci di acquisire ed elaborare 3000 informazioni al secondo provenienti dall'area sensibile, generando un'immagine ad altissima risoluzione.
A questo punto inizia l'elaborazione dell'immagine ottenuta andando ad analizzare ogni singola cella della matrice (righe/colonne) determinata.



2 PERCHÈ USARE I RAGGI X

2.a Vantaggi

La ragione più evidente per la quale un'azienda debba introdurre l'utilizzo di macchine a raggi X è la risultante maggiore qualità dei propri prodotti. Ogni anno produttori alimentari e farmaceutici sperimentano il significato di contaminazione del prodotto finito. Ciò crea infortuni e insoddisfazioni da parte del cliente finale, ritorcendosi poi in cali del venduto e perdita di posizioni nel mercato.

Usare i raggi X è anche economicamente conveniente in quanto all'interno di questa tecnologia sono raggruppate diverse caratteristiche che permettono l'unificazione di macchine che altrimenti dovrebbero essere comprate separatamente per espletare ognuno alla propria funzione:

- Metal detector: è un prodotto ad induzione elettromagnetica capace di rilevare sottili quantità (da una frazione di grammo in avanti) di metallo nel contenuto del prodotto.
- Check weigher: è un prodotto in grado di garantire al produttore di non immettere sul mercato beni che abbiamo un peso inferiore a quello indicato. Si basa su un principio di funzionamento legato al controllo del peso di un prodotto dato un peso medio.
- Optical inspection system: è in grado di analizzare contenitori trasparenti, vuoti andando a riconoscere eventuali contaminanti nel prodotto trasparente

2.b Prestazioni

L'ispezione a raggi X permette un controllo di qualità che non può essere raggiunto con altre tecnologie:

- tipo di packaging: tutti, i contenitori metallici non sono un problema
- tipo di contenuto del prodotto: tutti (densità, temperatura, salinità, umidità del prodotto non sono rilevanti)
- tipo di contaminanti: metallo, vetro, pietre, ossa, noccioli della frutta, plastica ad alta densità, gomma ad alta densità, ceramica e vuoti (es. bolle d'aria)
- prestazioni di rilevamento: più alte sullo stesso tipo di contaminante (es. su acciaio inox)
- altre caratteristiche rilevabili: sovra o sotto riempimento, contenuto mancante o danneggiato, difetti del packaging, forme non standard

	Metal detector	**Controllo ottico**	**Controllo peso**	**Raggi X**
Tipo di packaging	Non metallici	Trasparente (vetro - plastica) senza etichette	Tutti	Tutti
Tipo di contenuto	Tutti	Uniformi e trasparenti	Tutti	Tutti
Tipo di contaminanti	Metallici	Con alto contrasto rispetto ai prodotti	Non applicabile	Metallo, vetro (1), pietre (2), ossa(3), noccioli della frutta, plastica ad alta densità (4), gomma ad alta densità, ceramica e vuoti (es. bolle d'aria)
Tipo di difetti del contenitore	Non applicabile	Schegge di vetro/ contaminante scuro	Non applicabile	sovra o sotto riempimento, contenuto mancante o danneggiato, difetti del packaging, forme non standard
Controllo di livello	Non applicabile	Non applicabile	Tutti	Precisione nell'ordine del millimetro

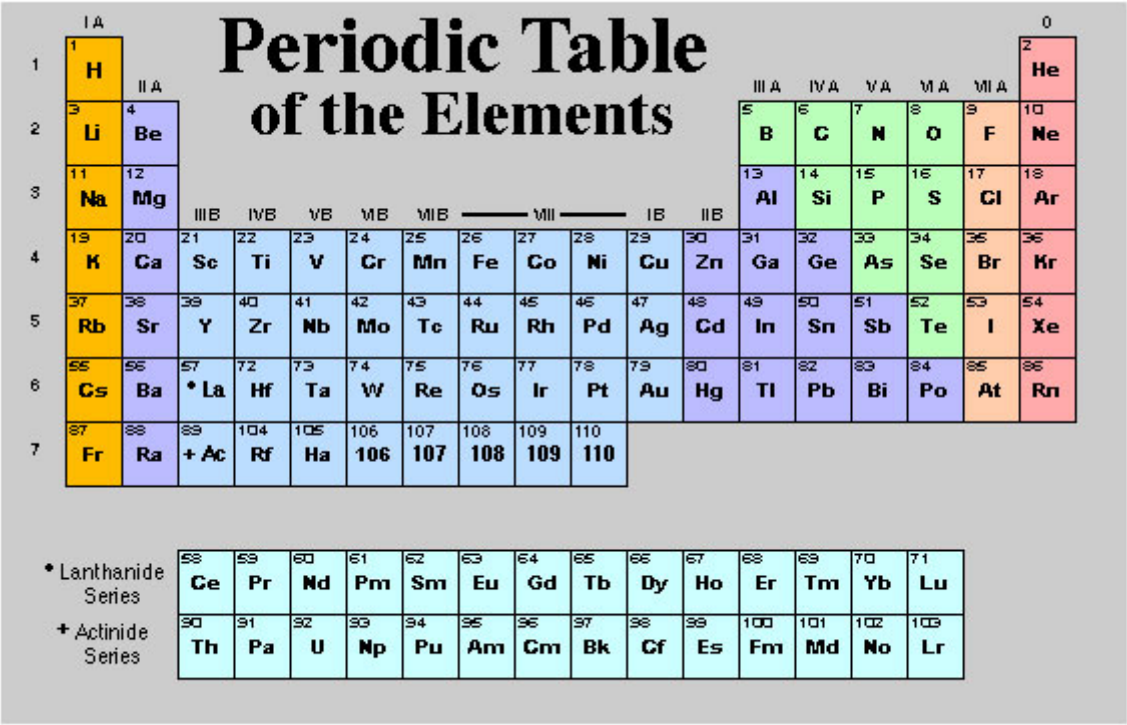
Quando la densità del contaminante è significativamente più grande di quella del prodotto che lo contiene, i raggi X sono in grado di rilevare il contaminante. In ogni caso, è importante ricordare che in generale i contaminanti sono contenuti nel prodotto e che quindi spostano un equivalente volume di prodotto. Ciò ha un effetto sfavorevole sulla capacità di rilevamento rispetto alla capacità di rilevare il contaminante stesso quando è posto al di fuori del prodotto.

(1) Vetro: ci sono molti tipi di vetro, rilevati con prestazioni diverse. Per esempio, il cristallo appare ai raggi X denso come l'acciaio, quindi ben rilevabile.

(2) Pietre : ci sono molti tipi di pietre. I fattori che influenzano la rilevabilità delle pietre sono: la porosità, il peso specifico e gli elementi atomici. Sovente ci si trova di fronte a pietre che contengono Silicio, Calcio, Potassio o materiali simili. Questi elementi sono principalmente quelli che appartengono alla seconda riga della tavola periodica degli elementi e quindi possono essere rilevati con una media sensibilità (per esempio 2,0/2,5 mm). In ogni caso, i materiali che contengono minerali appaiono tanto densi quanto i metalli.

(3) Osso : la rilevazione dell'osso all'interno di un prodotto dipende dalla quantità di calcio all'interno delle stesse. L'osso soffice come quello del pollo generalmente non è rilevabile, eccezion fatta per l'osso, la costola o l'ala, che possono essere rilevati. In generale, animali di terra (es. maiale e manzo) hanno ossa dense e calcificate, quindi ben rilevabili.
Anche la porosità è un fattore decisivo nella rilevabilità dell'osso: un osso molto poroso è difficilmente rilevabile.
(4) Molti tipi di plastica possono essere rilevati solo sulla base della differenza di densità rispetto al contenuto del prodotto ispezionato:

- Polietilene (PE) che contiene Carbonio e Idrogeno
- Policarbonato – (Makrolon, Acrilico) – che contiene Carbonio, Idrogeno e Ossigeno, con una formula di struttura simile a quella del cibo.
- Politetrafluoroetilene (PTFE, Teflon) – che contiene Carbonio, Idrogeno e Fluoro (F – numero atomico 9)



Limiti
L'ispezione a raggi X non permette di rilevare i seguenti corpi estranei:

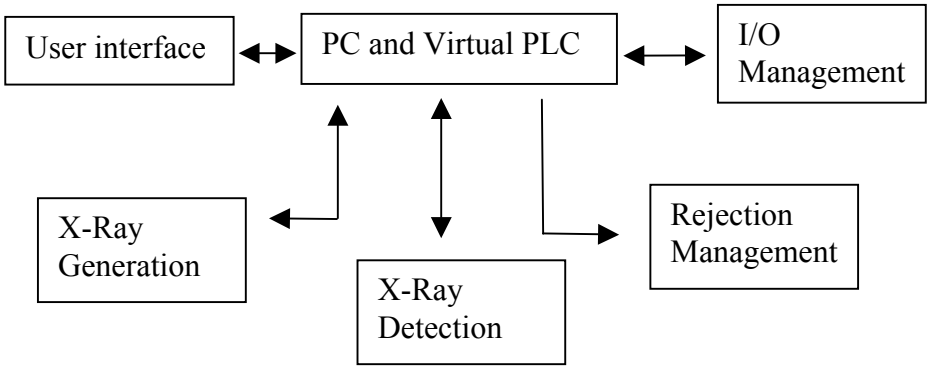
- insetti
- legno
- carta
- peli/capelli
- plastica a bassa densità
- carta alluminata, fili di alluminio
- polveri di metallo

3 Ispezione a raggi X in linea

3.a Struttura delle macchine

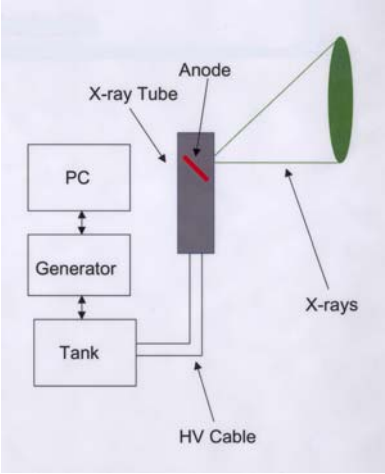
3.a.1 Controllo

Le macchine per l'ispezione a raggi X utilizzano un PC per gestire l'acquisizione delle immagini e tutte le altre funzioni del sistema. In figura è presentato un layout generale dell'unità di ispezione, in cui sono evidenziate le principali interazioni tra gli elementi base del sistema. In particolare, il PC ed il PLC virtuale svolgono tutte le fasi di elaborazione dell'immagine e controllo nonché di collegamento con gli altri elementi dell'unità d'ispezione.
L'interfaccia utente (User interface) permette di modificare i parametri per l'elaborazione di un prodotto o di cambiare lo stato della macchina. Salvo i casi straordinari (es. riparazione), l'intervento dell'utente sulla macchina è limitato all'interfaccia utente.
Il PLC virtuale (Virtual PLC) informa l'utente di eventuali allarmi o anomalie nella linea d'ispezione. L'Interfaccia utente ed il PLC virtuale comunicano fra loro il tipo di prodotto da ispezionare per adattare lo stato della linea al prodotto stesso. Per quanto riguarda tempistiche, velocità dei motori, azione di scarto, etc. (I/O Management) e lo stato dell'interfaccia stessa (in funzione, in manuale, in automatico), sono previsti altri segnali utili per la calibrazione del sensore (X-Ray Detection). Il segnale che permette di gestire lo scarto del prodotto contaminato (Rejection Management) è gestito dal PC.



3.a.2 Generatore di raggi X

Il processo per la formazione dei raggi X nasce quando un segnale è mandato dal PC al generatore di raggi X. Questo segnale dovrà contenere le informazioni necessarie per impostare la potenza e la frequenza dei raggi X.
Una volta che l'informazione arriva al generatore di raggi X il segnale sarà nuovamente amplificato e il suo output viene trasmesso al tubo tramite un apposito cavo ad alta tensione.
Quando il segnale colpisce il target (Anodo) all'interno del tubo, sono emessi i raggi X.

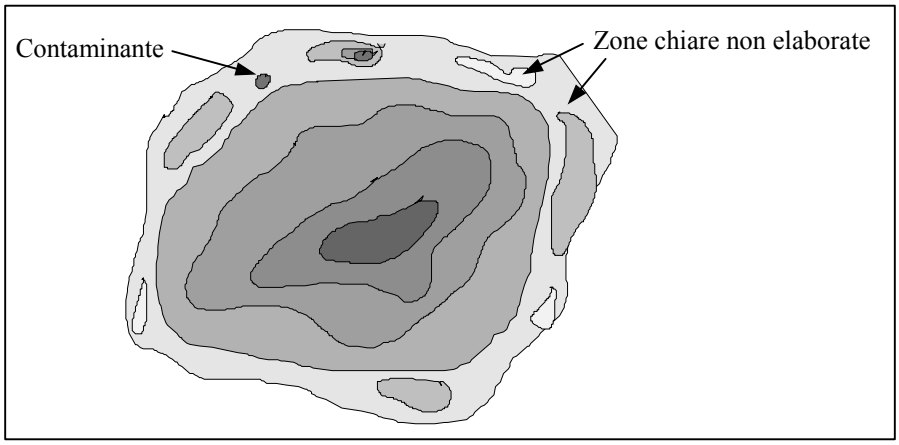


3.a.3 Sensore raggi X

Il fascio di raggi X emesso dal tubo è ricevuto e processato da un sensore. Questo strumento è composto da elementi sensibili chiamati CCD (Charged Couplet Device) che hanno il compito di trasformare i raggi X in segnale analogico.
Questo segnale viene poi trasmesso ad un convertitore Analogico/Digitale (ADC). Il compito del convertitore è quello di trasformare il segnale analogico ricevuto in un valore digitale (numero) che corrisponde ad un livello di grigio nell'immagine finale.
Come già precedentemente trattato, se il fascio di raggi X attraversa un prodotto contenente un contaminante, una quantità notevole di raggi viene assorbita facendo diminuire notevolmente la quantità di raggi che colpisce il sensore

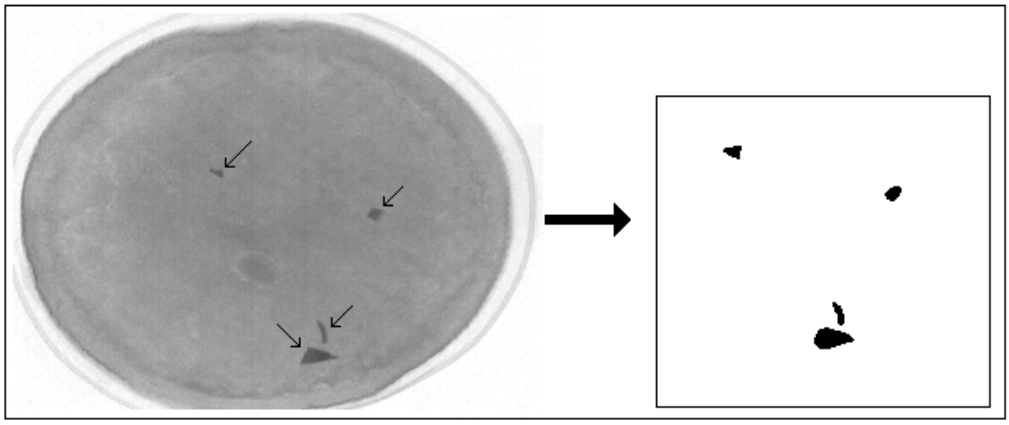
3.a.4 Image Processing

Generalmente, l'ispezione a raggi X di un corpo tramite la proiezione di un fascio sui pixel di un sensore si pone l'obiettivo di trovare parti del corpo con densità diversa da quella media. La parte in questione è generalmente riconosciuta come contaminante.
Le zone molto chiare dell'immagine (passaggio da prodotto a zone esterne al prodotto stesso) sono generalmente poco omogenee (variazioni chiaro/scuro anomale), e tali disomogeneità potrebbero condurre ad una errata individuazione di contaminanti.

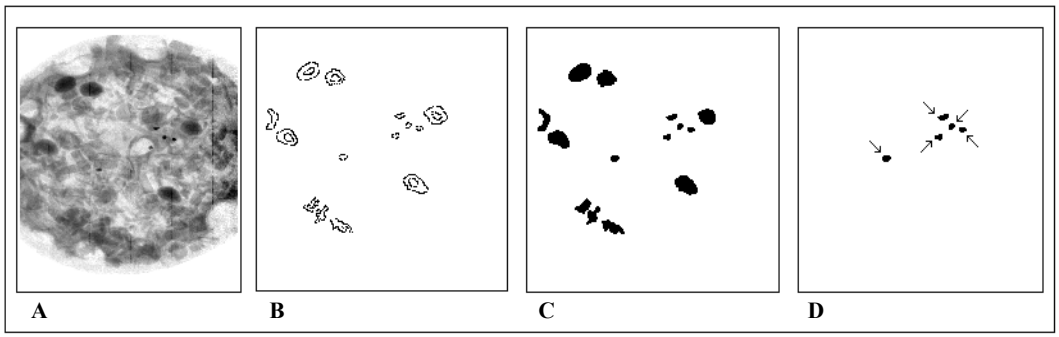


I parametri generali di elaborazione sono utilizzati per definire alcune caratteristiche comuni dei possibili contaminanti; tali caratteristiche sono utilizzate dai differenti metodi di elaborazione per ottimizzare i risultati dell'elaborazione stessa.
I metodi più diffusi sono i seguenti:

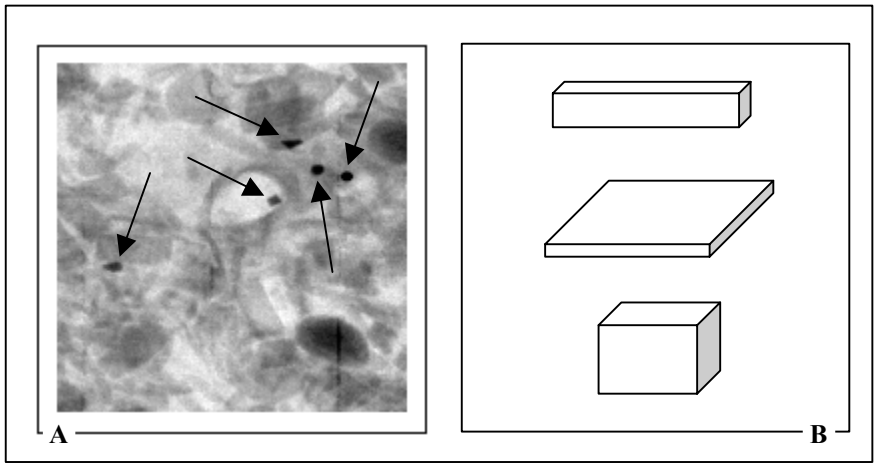
1. I metodi di elaborazione (algoritmi) basati **sull'analisi del valore fotometrico** dei singoli pixel dell'immagine permettono, generalmente, l'individuazione di contaminanti di dimensioni medio-grandi o molto contrastati (metallo).
E' importante notare che, una volta definito il livello di soglia, tutti i pixel che saranno colpiti con un fascio di raggi X con valore inferiore quello della soglia stessa vengono considerati come pixel anomali.



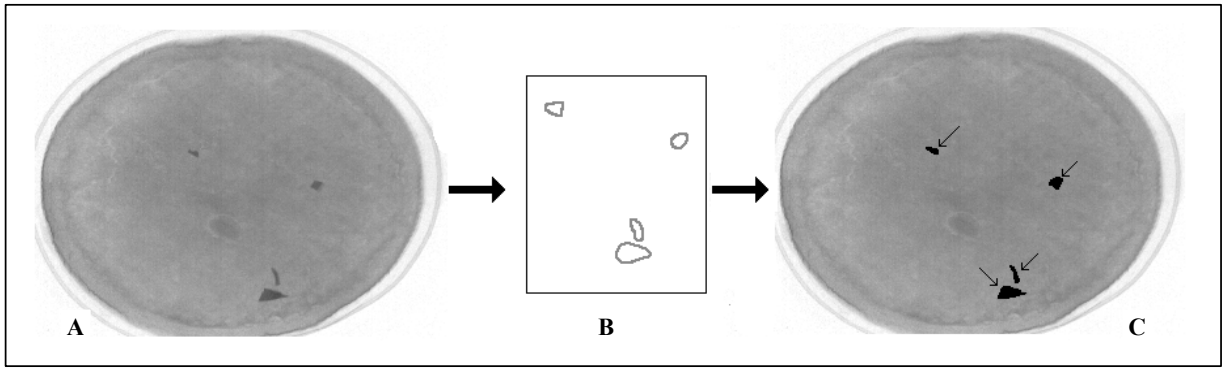
2. I metodi di elaborazione (algoritmi) basati **sull'analisi del contrasto fotometrico** dei singoli pixel dell'immagine permettono, generalmente, l'individuazione di contaminanti di dimensioni medio-piccoli con valori del contrasto abbastanza elevati.
Tutti i gruppi di pixel anomali con valore del contrasto superiore al valore del parametro impostato vengono quindi considerati come contaminanti.



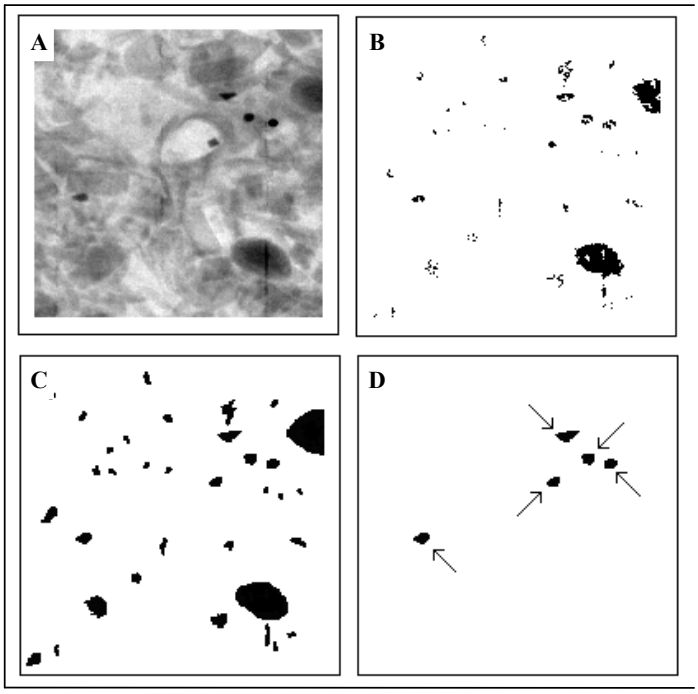
3. Il metodo di elaborazione (algoritmi) basati sull' **analisi del gradiente fotometrico** dei pixel dell'immagine permette, generalmente, l'individuazione di contaminanti abbastanza contrastati rispetto all'immagine, indipendentemente dalle dimensioni dei contaminanti stessi.
Inoltre, il metodo del gradiente consente anche di individuare contaminanti poco contrastati, purché caratterizzati da superfici spigolose o con piani di frattura tra loro perpendicolari (vedi figura sottostante).



In figura sono indicati i passi principali del metodo del gradiente: partendo dall'immagine relativa ad un certo prodotto, per ciascun pixel viene determinato il valore del gradiente fotometrico, e tutti i pixel con gradiente superiore al valore del parametro che vengono considerati come pixel anomali. I pixel anomali così individuati vengono utilizzati per costruire gruppi di pixel anomali, e tutti i gruppi anomali così definiti con specifiche caratteristiche fotometriche e morfologiche vengono considerati come contaminanti.



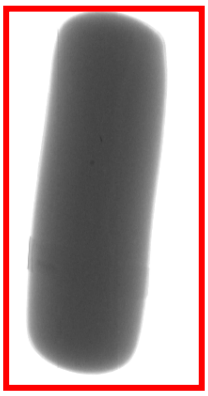
4. **L'analisi del valore del contrasto** dei gruppi scuri è un algoritmo molto potente, capace di individuare una vasta famiglia di contaminanti di dimensioni medie e piccole, anche poco contrastati.
Partendo dai singoli pixel scuri individuati, il sistema costruisce in modo automatico i gruppi scuri di cui i pixel stessi fanno parte, sulla base di un certo numero di regole fotometriche e geometriche, come indicato in figura. Per ciascun gruppo scuro viene quindi determinato il valore del contrasto fotometrico rispetto alle zone adiacenti dell'immagine e tutti i gruppi con valore del contrasto superiore al valore del parametro che vengono considerati come contaminanti.

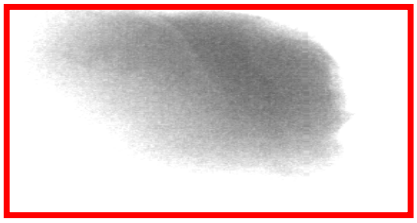


Caratteristiche del prodotto ispezionato
I risultati della rilevazione dei contaminanti dipende dalle seguenti caratteristiche dei prodotti: spessore, omogeneità e densità.

Variazione dello spessore:
A parità di omogeneità e densità, un prodotto spesso è più difficile da esaminare di un prodotto sottile; ciò accade perché i raggi X che giungono alla parte sensibile del sistema per la rilevazione (vedi paragrafo precedente) sono sicuramente superiori se hanno attraversato un corpo sottile. Infatti nel caso in cui il raggi attraversino un corpo più spesso parecchia energia sarà assorbita durante il tragitto.

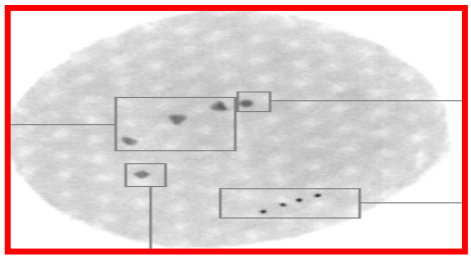
Formaggio spesso



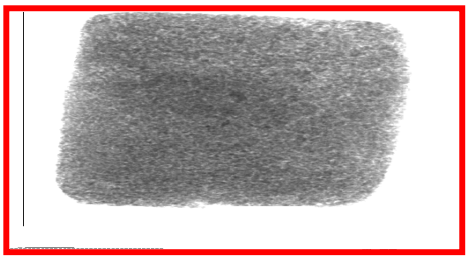


Formaggio sottile

Variazione di omogeneità:
A parità di spessore e densità, un prodotto omogeneo è più facile da esaminare di uno non omogeneo, perché la prima immagine è meno “disturbata” della seconda. Infatti ci sono punti in cui il cambiamento di omogeneità potrebbe ingannare il sistema, facendo interpretare questo salto come contaminante.

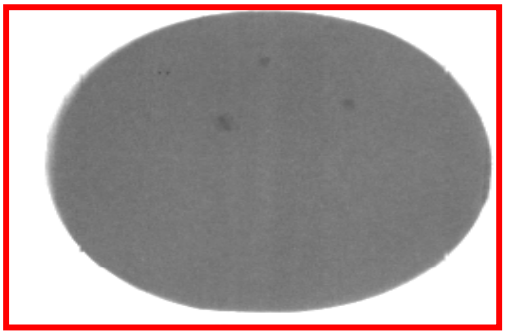


Hamburger

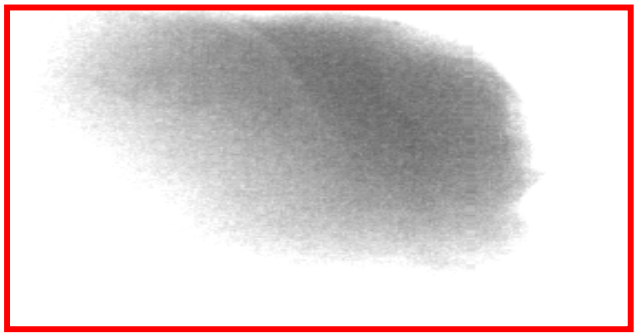


Bacon

Variazione di densità:
A parità di spessore e omogeneità, un prodotto con più alta densità è molto più difficile da esaminare rispetto a uno meno denso in quanto il primo crea un'immagine più scura della seconda, quindi più complicata da elaborare; ciò accade perché l'energia dei raggi X, che risulta su un sensore dopo aver attraversato un prodotto con più alta densità, è minore dell'energia dei raggi X che risulta un sensore dopo aver attraversato un prodotto a bassa densità.



Formaggio con alta densità



Formaggio con bassa densità

3.b Comunicazione

3.b.1 In linea

I sistemi per l'ispezione hanno il vantaggio di essere perfettamente compatibili e comunicanti la linea di produzione; installare un sistema a raggi X non vuol dire rivoluzionare il proprio processo, ma semplicemente inserire come fase finale un controllo sulla qualità.

3.b.2 Remota

Nuove tecnologie permettono di monitorare i dati provenienti dal sistema di ispezione, o da più sistemi interconnessi, su una unica postazione remota di raccolta:

- stato del sistema
- eventuali segnali di allarme
- statistiche di produzione

Non è possibile modificare lo stato del sistema

Inoltre grazie al tool per il controllo remoto, un utente esperto può acquisire il controllo del sistema senza recarsi in loco.

4 Applicazioni di raggi X

Dylog offre una vasta gamma di soluzioni per il controllo qualità non distruttivo tramite raggi X per vari settori di produzione industriale: la serie DYXIM, Dylog X-ray Inspection Machine, una linea in continua espansione per cercare di soddisfare sempre al meglio le esigenze dei clienti.

- Alimentare
- Farmaceutico
- Altro

4.a Alimentare

Questo è stato il mercato più importate sin dall'inizio: ad oggi, la serie DYXIM offre soluzioni per:

- qualunque tipo di confezione, sia rigida che non, metallica o non
- ogni forma e dimensione
- ogni tipo di contenuto

Dyxim FB (Flat Bed) per confezioni morbide, cibo sfuso, sacchetti, vassoi, scatole: è in grado di rilevare varie tipologie di contaminanti

Dyxim S (Single) e **Dyxim D (Double)** per vasi di vetro, bottiglie, barattoli metallici, brick pack: sono in grado di rilevare varie tipologie di contaminanti

Dyxim T (Top View) per piccoli vasi di vetro e lattine: è in grado di rilevare varie tipologie di contaminanti

4.b Farmaceutico

E' un nuovo mercato, in espansione, dove le soluzioni DYXIM hanno dimostrato di essere le sole in grado di avere un'affidabilità prossima al 100% nel rilevare piccoli contaminanti all'interno di piccoli contenitori, ad esempio fialette di vetro ed ampolle.

Dyxim FB Pharma (Flat Bed) : progettata per l'ispezione di contenitori quali blister, buste, fialette di vetro e plastica con contenuti di qualunque tipo.

Dyxim S Pharma (Single) e D Pharma (Double): progettate per l'ispezione di flaconi farmaceutici, con contenuti di qualunque tipo.

4.c Altro

Fra le fila dei vari processi produttivi, possono essere richieste specifiche misurazioni o controlli di qualità sul prodotto finito. Qualche recente applicazione ha visto posizionare le macchine DYXIM per rilevare:

- la corretta posizione dei fori sulle tavole da snowboard: Dyxim FB 56, FB 61 e FB 70
- nell'ispezione delle conchiglie per trovare le perle: Dyxim FB Wide
- per il ritrovamento di aghi o pezzi metallici nel settore dell'abbigliamento: Dyxim FB Wide
- per il riconoscimento delle sorprese nelle uova di Pasqua: Dyxim FB 56, FB 61 e FB 70

5 Sicurezza

La progettazione e costruzione di una macchina a raggi X deve sempre tenere conto della sicurezza per l'operatore e per il prodotto ispezionato.

- Operatore

L'operatore che utilizza la macchina non deve correre alcun pericolo a causa dell'emanazione dei raggi X nel normale svolgimento della propria attività.

- Prodotto

Il prodotto ispezionato viene sottoposto ad una quantità di raggi e per una durata di tempo tali per cui il prodotto può essere tranquillamente immesso sul mercato per il consumatore finale.

5.a Operatore

Le macchine DYXIM sono certificate in conformità con le direttive europee 89/391, 89/654, 89/655, 89/656, 90/269, 90/270, 90/394, 90/679 sulla sicurezza e salute del lavoro e con le direttive per la protezione dalle radiazioni ionizzanti 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641e 96/29.

Gli accorgimenti tecnici sulle macchine DYXIM per la sicurezza dell'operatore sono:

- il sistema di protezione è sovradimensionato rispetto alle norme internazionali per garantire fughe di raggi pressoché inesistenti e comunque certificate inferiori ai più severi limiti posti dalle legislazioni internazionali: per questo motivo, il blocco di ispezione è ricoperto internamente in piombo e protezioni in acciaio piombato sono disposte all'entrata ed all'uscita della zona di ispezione.
- al momento in cui viene aperto lo chassis della macchina, ad esempio per permettere manutenzione e/o pulizia, la produzione di raggi X viene interrotta.

5.b Prodotto

In ordine alla normativa sul "trattamento" di alcuni alimenti, nella quale trova riferimento anche l'attività di "controlli" mediante raggi X, i costruttori di macchine devono tenere conto di quanto posto nelle Direttive Europee 93/43 CEE e 96/3/CE recepite in Italia dal D. Lgs. 155/97 che riprendono fedelmente i criteri posti dal HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point), introdotto dalla FDA (The Food and Drug Administration).

La FDA permette un assorbimento di raggi X pari a

1 KGy = 10^9 µGy

sulle macchine DYXIM il valore di assorbimento è oltre 1.000.000 volte inferiore a quello riconosciuto come non dannoso dalla FDA.

Per limitare ulteriormente l'assorbimento di raggi X da parte dei prodotti si usano i seguenti accorgimenti:

- i prodotti sono esposti ai raggi per un tempo molto ridotto;
- grazie ad uno speciale dispositivo (collimatore), viene fisicamente ridotta la quantità di raggi X che colpiscono il prodotto;
- per ottenere una corretta ispezione è sufficiente una limitata quantità di energia grazie all'utilizzo di sensori molto sensibili.