Trasduttori microfonici (fonometri)
Le misure fonometriche vengono eseguite in un elevato numero di ambienti, e per i diversi impieghi; ad esempio, in ambienti di lavoro, ambienti rumorosi, strade e zone industriali per rilevare il livello di inquinamento acustico, ecc.
Lo strumento che esegue tale misura è il Fonometro.
Esistono in commercio diversi tipi di fonometri, con diverse prestazioni e diverse caratteristiche.
Lo strumento, oggi elettronico, è in grado di rilevare la variazione di pressione dovuta alla presenza di un campo sonoro, tramite un microfono, e di indicare successivamente su di un display ed eventualmente su di un "Pc" il livello di campo misurato.
I fonometri moderni, sono anche in grado di effettuare l'analisi in frequenza del segnale captato.
L'intensità del suono, ovvero la pressione delle onde sonore che si muovono nell'aria, presenta una gamma di frequenze che va da 20 Hz fino a 20 KHz. L'intensità sonora (espressa in dB = 10 log P/Po dove $Po=10^{-12}$ Pa, 1 bar ~ 1 Atm = 10^5 Pa; 1 Pa = $1N/m^2$), così come è percepita dall'orecchio umano, è proporzionale al quadrato del corrispondente livello di pressione sonora; un aumento di 6 dB corrisponde ad un raddoppio dell'intensità sonora. La scala logaritmica evidenzia le armoniche "deboli" che verrebbero mascherate da quelle "forti" e comprime la scala di rappresentazione (viene data la stessa risoluzione percentuale sull'intero grafico). Esistono microfoni resistivi (variazioni di pressione dell'aria variano la densità dei grani di carbone e quindi la resistenza), capacitivi (un'armatura costituisce la lamina vibrante in funzione della pressione: sensibili al rumore), induttivi (a bobina mobile: la risposta diminuisce alle basse ed alte frequenze), piezoelettrici (risposta lineare, ottima sensibilità, molto robusto). Valori di sensibilità per un trasduttore capacitivo: 50 mV/Pa (1 Pa = 1 N/m^2 = 10^{-5} bar ≈ 10^{-5} atm).
La **piezoelettricità** è una caratteristica di alcune sostanze cristalline elettricamente isolanti (ceramiche) le quali, sottoposte ad una deformazione meccanica, si polarizzano elettricamente. ossia presentano una separazione delle cariche elettriche proporzionale all'entità della deformazione (si comporta come un condensatore); tale fenomeno è reversibile nel senso che, applicando una tensione sulle facce opposte del materiale, esso si deforma.

Accelerometri
Consentono la conversione di una variazione di velocità in una variazione di tensione; permettono la misurazione di accelerazioni, vibrazioni e sollecitazioni meccaniche. Il trasduttore più utilizzato impiega una ceramica piezoelettrica sensibile a sollecitazioni di compressione e taglio, viste come prodotto della massa per l'accelerazione: la risposta si mantiene lineare entro un ampio intervallo di valori di accelerazione (es. da 0,1 a 100 m/s^2); inoltre presenta una frequenza limite oltre la quale il trasduttore potrebbe oscillare. Per evitare ciò in genere si installa in uscita un filtro passa-basso: si elimina la zona incerta della risonanza; se la massa è piccola la frequenza propria risulta elevata, così come la sensibilità (valori tipici 0,1 - I 00 pC / m/s^2).

Monitoraggio cromatico (rilevatore di immagini - videocamera)
Il monitoraggio cromatico dei prodotti è un'esigenza di molte industrie operanti nei settori degli alimenti, della ceramica, della carta, dell'imballaggio e della produzione di etichette. Ma applicazioni specifiche, anche di elevato livello qualitativo, possono trovar posto anche in altre produzioni in serie.
Grazie alla luce che raccoglie, l'occhio umano non solo è in grado di percepire l'esistenza degli oggetti e i loro rapporti spaziali, ma anche di percepirne i colori, grazie alle diverse lunghezze d'onda emesse dalle loro superfici.
Lo spettro delle radiazioni elettromagnetiche visibili comprende quelle aventi una lunghezza d'onda da 400 a 760 nm. Una miscela di radiazioni con lunghezza d'onda tale da coprire tutto questo intervallo dà all'occhio la sensazione di luce bianca.
D'importanza fondamentale per la discriminazione artificiale dei colorì è il fatto che ognuno di essi risulta dalla composizione di tre colori *primari:* rosso, verde, blu.
Disponendo di tre sorgenti luminose di tali colori e proiettandone la luce su uno schermo bianco, è possibile fare in modo che, variando le intensità relative delle luci proiettate, lo schermo appaia di un colore qualsiasi.
Allo stesso modo, ma per procedimento inverso, è possibile scomporre qualsiasi colore nelle sue componenti primarie. E' ciò che fa il sensore cromatico, entro il quale si trovano tre fotodiodi sensibili rispettivamente ai colori rosso, verde e blu.
In base alla pigmentazione con cui è stata trattata, la superficie di un oggetto riflette la luce di una particolare lunghezza d'onda, mentre smorza o assorbe tutte le altre onde elettromagnetiche. Ad esempio un oggetto verde riflette la luce di lunghezza d'onda pari a 555 nm. L'oggetto sottoposto ad indagine cromatica (denominato *target:* bersaglio) viene illuminato da un proiettore a lampada alogena. che focalizza la propria luce "bianca" su una zona ben precisa, da cui la luce viene riflessa verso l'ottica del sensore. L'oggetto deve trovarsi, rispetto al sensore, ad una distanza ottimale che, nel caso dell'apparecchio di fig.34, è di 45 mm.

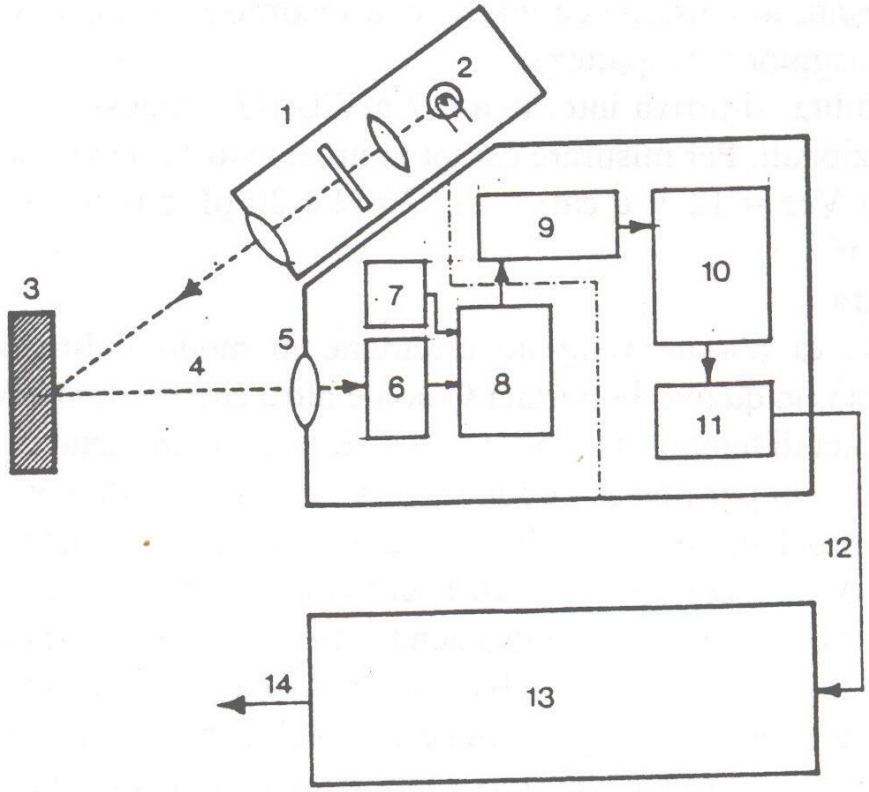

Fig. 34 - Sensore cromatico con testina per esplorazione diretta.
1 - gruppo ottico di illuminazione;
2 - lampada alogena;
3 - oggetto da esplorare;
4 - luce riflessa;
5 - ottica del sensore;
6 - fotodiodi sensibili al rosso, al verde ed al blu;
7 - compensazione della temperatura;
8 - preamplificazione;
9 - convertitore analogico/digitale;
10 - CPU (Central Process Unit);
11 - interfaccia;
12 - cavo d'interconnessione;
13 - unità di controllo;
14 - segnali in uscita.

All'interno del sensore l'immagine cromatica viene percepita dal tre fotodiodi che la trasducono in altrettanti
segnali analogici, proporzionali all'intensità riscontrata per ognuno dei tre colori di base.
La gestione computerizzata è demandata ad un'unità di controllo fisicamente indipendente dal sensore.
L'unità di controllo, in base all'algoritmo impostato, elabora i dati cromatici provenienti dal sensore; confronta i risultati dell'elaborazione con i dati di riferimento archiviati in memoria ed emette un segnale di conformità-riconoscimento.
L'oggetto deve rimanere inquadrato dall'ottica del sensore per un tempo almeno leggermente superiore a quello minimo (circa 10 ms) richiesto dal dispositivo per un'esauriente esplorazione cromatica.

Visione lineare

Un sistema di visione artificiale dev'essere in grado di riconoscere un pezzo, qualunque sia il suo orientamento nello spazio. Solitamente vengono impiegate allo scopo le telecarnere allo stato solido, dette CCD (Charge Coupled Devices), nelle quali l'immagine viene proiettata su una matrice di elementi fotosensibili (fig.37), detti *pixel,* che convertono il livello di grigio in un segnale elettrico proporzionale. Ogni matrice di una telecamera bidimensionale CCD è composta da numerosissimi pixel che formano, ad esempio, un quadrante di 1024x1024 = I M pixel, facenti capo ad un sistema di elaborazione computerizzata.

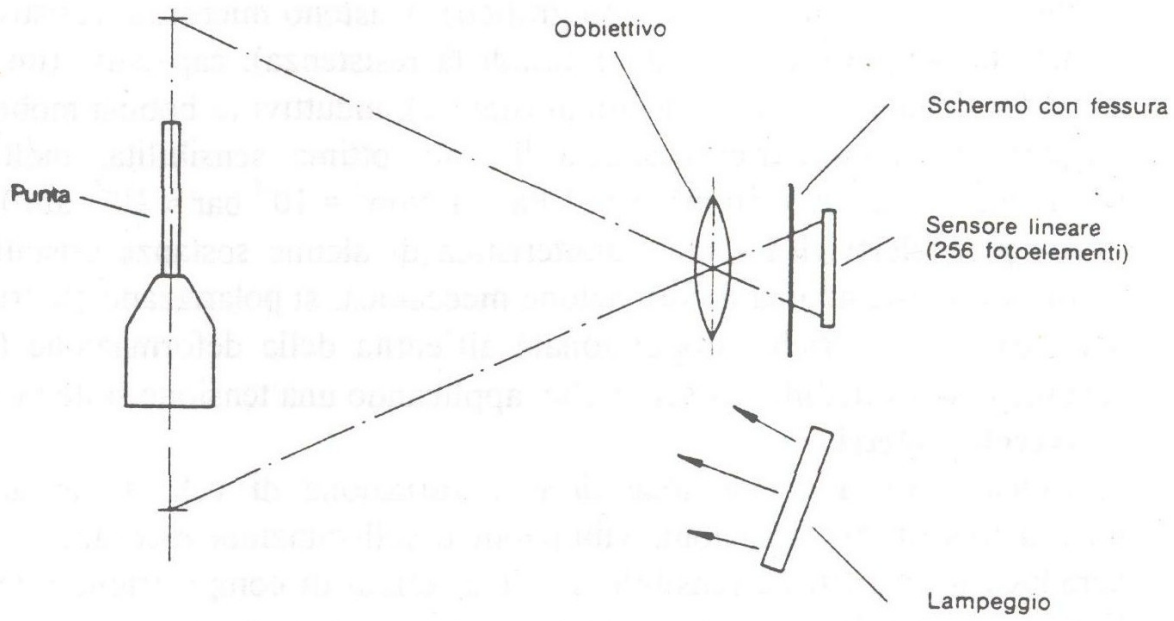

Fig. 38 - Sensore ottico lineare per il controllo utensili.

Ne deriva un costo elevato, sia delle apparecchiatura che dei programmi necessari per la gestione di un'unità a cosi elevata possibilità di calcolo.
Esistono però applicazioni in cui i pezzi da riconoscere sono quantitativamente limitati ed il loro orientamento prestabilito, nelle quali le prestazioni possono essere ridotte in favore del contenimento dei costi.
E per soddisfare tali esigenze che ha preso forma il *sensore lineare* costituito da una fila *(array)* di fotodiodi con dimensioni dell'ordine della decina di micron.
I costi del sensore e dell'intero sistema vengono ridotti per via del sostanziale alleggerimento della quantità d'informazioni da considerare; mentre la risoluzione spaziale monodimensionale, potendo contare su oltre 4.000 pixel contro i 1024 di una telecamera rnatriciale, consente livelli di precisione superiori.

La gestione del sensore lineare CCD viene svolta da un microprocessore d'immagine che legge in rapida scansione i singoli pixel, rilevandone il livello di grigio (es. con 256 livelli occorrono 8 bit = 1 Byte) e digitalizzando l'immagine lineare in base al livello di soglia prestabilito. Una delle applicazioni più semplici è quella che vede un sensore ottico lineare posto a sorvegliare lo stato di integrità di una punta per forare. L'oggetto, illuminato da un lampeggiatore, riflette la propria immagine su un sensore lineare a 256 fotoelementi. La formazione dell'immagine nel sensore è guidata da una lente di messa a fuoco e da uno schermo fessurato che funge da guida di luce sui pixel.
All'inizio della lavorazione si provvede a memorizzare l'immagine dell'utensile integro, immagine che verrà posta a confronto con quella rilevata al termine di ogni lavorazione. Si realizza in questo modo un semplice confronto fra più immagini, inerente la lunghezza e la forma della punta.
In una forma adatta a svolgere più funzioni, il sensore assume la struttura di una *telecamera lineare,* con una lettura periodica dei fotodiodi che compongono la linea e la possibilità di interessanti applicazioni, sia nell'ambito del controllo di posizione che in quello di misura.
L'elaborazione dei segnali avviene nell'ambito della stessa telecamera, tramite un microprocessore, il che consente di ridurre il carico delle funzioni richieste all'unità centrale di controllo. Tanto che, in certi casi, l'unità stessa funge solo da elemento per la visualizzazione ed il trasferimento dei comandi agli attivatori dell'impianto.
La filosofia è quella di mettere a disposizione del cornputer una periferica seriale autonoma, in grado di estrarre autonomamente dalle immagini le informazioni utili all'elaborazione. L'alta risoluzione permette alla telecamera di effettuare misure con una tolleranza molto stretta; mentre la rapidità di scansione lungo la linea di pixel consente misure ad elevata velocità (in tempi dell'ordine del millisecondo), prestandosi alla rilevazione di oggetti in movimento su linee di produzione o trasporto. Si ha un'elevata precisione di lettura (ad esempio con tolleranza di 0,1 mm) sull'esatta posizione in cui si trova l'oggetto.

Rilevatore di radioattività

E' detto anche contatore Geiger (dal fisico tedesco che lo ideò) e permette di rilevare le radiazioni ionizzanti (raggi gamma, beta, mesoni), è costituito da un tubo conduttore e da un filo metallico motto sottile teso lungo il suo asse, situati in un involucro contenente gas rarefatto e sottoposti a una differenza di potenziate di centinaia di volt; se è attraversato da una particella carica o da un quanto di energia elettromagnetica, fra tubo e filo passa un impulso di corrente proporzionale al numero di ioni prodotti inizialmente dalla particella.

Sensori chimici

Hanno la caratteristica di essere sensibili a particolari gas, ioni o molecole semplici o complesse; essi sono sempre accompagnati da un sistema elettronico in grado di trasformare la sua risposta in un segnale di tipo elettrico facilmente trattabile per successive elaborazioni. Numerose sono le applicazioni: nella biomedicina (disturbi cardiopolmonari, analisi del sangue, tossicità da droghe, dialisi renale anestesia), nella microbiologia (ormoni, metabolici, marker, attività enzimatiche, pH, gas vari, nutrienti), nella neurofarmacologia (O_2, indicatori
di attività tumorali nel cervello, indicatori d'infarti nel miocardio), nel controlli: della combustione (CO, CO_2, SO_2), di impianti di biogas (CH_4, CO_2, H_2), di scarichi (CO, CO_2, O_2, NH_3), della concentrazione di H_2 nei sistemi di immagazzinamento dell'energia, dell'inquinamento delle sale operatorie (CO_2, N_2O), ambientali (Hg, Pb, Cr, Cd, Zn, SO_2, NO, CO, idrocarburi metanici e non metanici a doppio legame, idrocarburi clorurati, certi derivati dello stagno, del fosforo e del silicio, alcuni derivati cloroorganici (policloruri di fenile), oli usati che provengono sia da processi di combustione (riscaldamento, traffico automobilistico) sia da emissioni specifiche a livello industriale (NO_2, CO_2, O_3, certe aldeidi. perossidi H_2SO_4). La parte più delicata del sensore in genere è rappresentata dal catalizzatore che consente la conversione della grandezza chimica in quella fisica (es. per rivelare H_2 si usa come catalizzatore il Pd). I sensori chimici possono essere suddivisi in base alla proprietà sfruttata dalla struttura di base nella rivelazione della specie chimica: a) sensori termici (piroelettrici) in cui viene sfruttato il calore in gioco durante il processo di adsorbimento o di

desorbimento; b) sensori ottici in cui si sfrutta la variazione dell'indice di rifrazione della parte terminale di una fibra ottica in presenza di specie chimiche in una data soluzione; c) sensori ad onda acustica superficiale in cui si sfrutta la dipendenza della velocità di propagazione di onde acustiche superficiali con le proprietà acustoelettriche di film sottili nei quali sta avvenendo un processo di adsorbimento o di desorbimento di un gas; d) sensori ad effetto di campo in cui cariche elettriche o dipoli elettrici influenzano la barriera di potenziale di una struttura MIS o la conducibilità di un canale di un FET o MOSFET; e) sensori resistivi in cui viene sfruttata la variazione di resistenza di un film interagente con l'ambiente attraverso un processo di chemiadsorbimento (es. film di SnO_2, per rivelare la presenza di NO_x, film spesso di SnO_2 drogato con ThO_2, per la rivelazione di CO).
Infine si accenna ai **rivelatori di fumo** (es. negli impianti antincendio) che in genere si basano sulla diffusione della luce causata dalle particelle di fumo presenti nell'aria (effetto Tyndall): sono costituiti essenzialmente da una camera ottica nella quale si analizza la presenza o meno di particelle introdottesi nel suo interno e prodotte da una eventuale combustione.

Trasduttori di pH

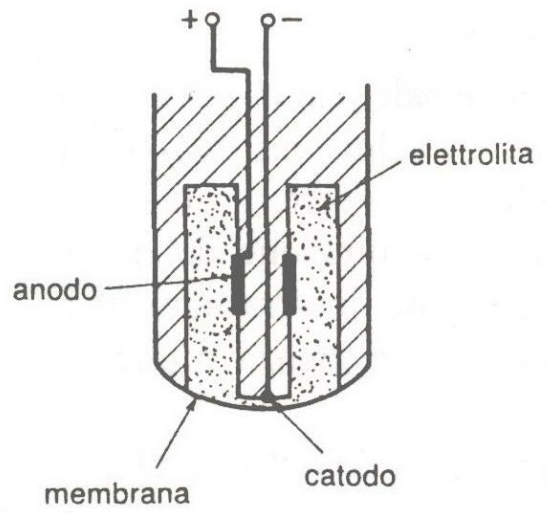

Fig. 35 - Elettrodo per la misura del pH.

La misura del pH, ovvero del livello di acidità o alcalinità di un liquido, si esegue con una coppia di elettrodi, uno di misura e l'altro di riferimento; il tipo più usato è quello a vetro (fig.35), costituito da una membrana di vetro speciale semimpregnante agli ioni idrogeno, con un filo d'argento rivestito nella parte inferiore da cloruro d'argento (Ag Cl) e immerso in una soluzione di cloruro di potassio (K CI).
A contatto con il liquido da misurare. se il pH è maggiore di 7 (valore neutro) la soluzione è alcalina, per cui si stabilisce, attraverso la membrana, un flusso di ioni H^- in uscita dall'elettrodo; se invece il pH è minore di 7 (soluzione acida) il flusso avviene in senso inverso. Il flusso di ioni, proporzionale al pH, crea nel sensore un potenziale elettrico che viene misurato dall'apparecchio di misura come differenza rispetto al potenziale costante dell'elettrodo di riferimento.

Spettrofotometro
Strumento di analisi utilizzato per individuare e valutare quantitativamente alcune sostanze in base al loro spettro di assorbimento. Esso è fornito di una sorgente di luce (in genere capace di fornire lunghezze d'onda estese dall'infrarosso all'ultravioletto) e di un monocromatore, con cui è possibile ottenere il passaggio sul campione in esame di luce ad una sola lunghezza d'onda (monocromatica), es. prisma ottico; tale lunghezza d'onda può inoltre essere fatta variare in maniera continua, in modo da esaminare quale sia l'assorbimento della sostanza in esame per ogni tipo di radiazione Poiché ogni struttura molecolare presenta un assorbimento massimo di radiazione ad una o più frequenze caratteristiche, è possibile ricostruire lo spettro di assorbimento di una qualsiasi sostanza ignota e quindi individuarla. E' inoltre possibile eseguire misurazioni quantitative, nota la sostanza in esame, utilizzando una radiazione di frequenza pari a quella assorbita dalla sostanza stessa, che viene inviata su dispositivi fotoelettrici che misurano l'intensità della radiazione emessa, con il vantaggio di elevata sensibilità ed eliminazione dell'interferenza di altre sostanze eventualmente presenti nella soluzione.

Microscopio elettronico a scansione

Tipo particolare di microscopio elettronico. nel quale il fascio di elettroni, prodotto da un “cannone” elettronico, viene focalizzato da un complesso di lenti elettromagnetiche in un fascio sottilissimo sulla superficie dell'oggetto in esame: su questa il fascio viene fatto "spazzolare" da un sistema di bobine deflettrici. L'impatto degli elettroni sulla superficie induce in questa l'emissione di elettroni secondari, dipendente dalla struttura molecolare della superficie, che, opportunamente elaborati, modulano la luminosità di un tubo a raggi catodici. Poiché il numero di elettroni secondari emessi dalla superficie del campione dipendono dall'angolo con cui il fascio incidente “sonda” incide sulla superficie del campione, l'immagine mostrata dal tubo a raggi catodici rappresenta la topografia superficiale del campione (fig.39). Il limite di risoluzione è circa 10 nm

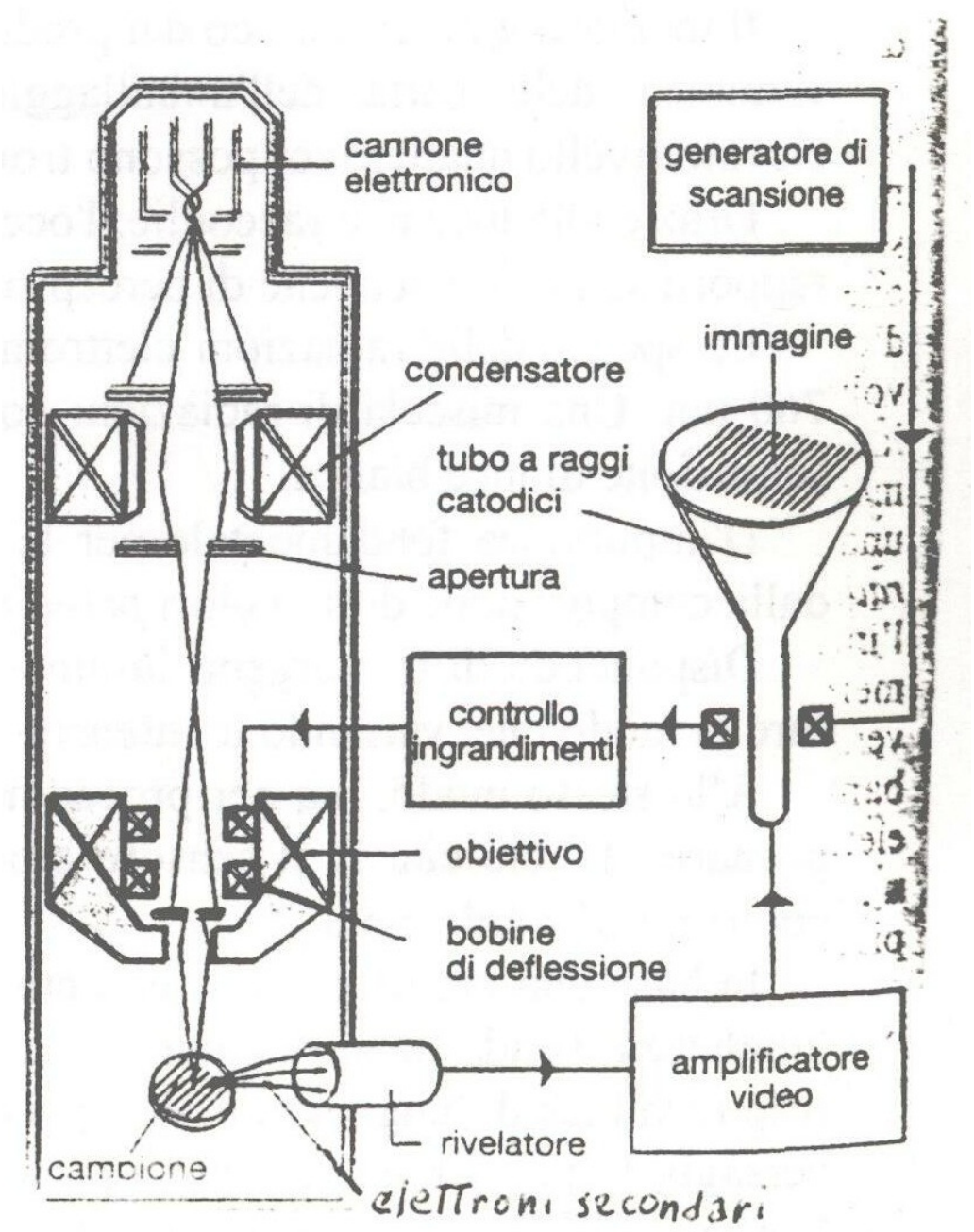

FIG. 39