

Sommario

Riproduzione del colore	2
Gamma cromatica e risoluzione delle stampanti	3
Stampanti a matrice di aghi	10
Plotter a penna	12
Stampanti a trasferimento termico.....	13
Stampanti a sublimazione	15
Stampanti a getto di inchiostro liquido	17
Carta per stampanti inkjet	29
Stampanti a cambiamento di stato.....	34
Stampanti elettrofotografiche.....	39
Stampa digitale.....	49

Riproduzione del colore

Il colore delle stampanti

Le stampanti per la grafica computerizzata sono dispositivi raster che producono immagini mediante schemi di minuscoli punti in quadricromia (la soluzione più diffusa) o in esacromia o con un numero ancora superiore di colori. I colori base della quadricromia sono il ciano, il magenta, il giallo ed il nero, con i primi tre che sono denominati **colori fondamentali sottrattivi**: fondamentali perché dalla loro combinazione è possibile ottenere altri colori e sottrattivi perché gli inchiostri, i colori ed i pigmenti della stampante fungono da filtri, che sottraggono o assorbono alcune lunghezze d'onda e ne riflettono altre.

La stampante può sovrapporre due colori fondamentali e quindi produrre il rosso, il verde e il blu, oppure sovrapporre tutti e tre colori fondamentali per ottenere il nero. Ma le stampanti attuali prevedono un nero specifico denso e neutro, fornito da un apposito inchiostro ed il sistema a colori sottrattivi che utilizzano è quindi noto come **CMYK**, dove la lettera K indica il nero.

Al di fuori di questa gamma limitata di quattro colori la stampante lavora con schemi di punti (ad esempio, per stampare un colore intermedio come il porpora, realizza uno schema di punti fondamentali nei colori magenta e ciano). Per ottenere tinte meno sature, la stampante "mescola" del bianco, cioè lascia in bianco uno spazio a fianco del colore (ad esempio, per ottenere il rosa chiaro lascia uno o più punti bianchi a fianco del punto di magenta).

Il colore dei monitor

Una workstation, un PC o un terminale riproducono il colore in modo molto diverso da una stampante. Il monitor utilizza, infatti, i colori fondamentali additivi rosso, verde e blu, così denominati perché, mescolati in parti uguali, forniscono il bianco. Questo sistema di colori è noto come **RGB**.

Mentre la carta riflette la luce, il monitor la emette. La superficie del monitor è costituita da milioni di minuscoli punti emettitori di luce ed a ciascun pixel (**punto indirizzabile**) corrispondono tre punti rosso, verde e blu. Ad esempio, per visualizzare un oggetto rosso, il sistema accende i punti rossi che costituiscono il contorno e l'interno dell'oggetto. Per riprodurre tinte intermedie, il sistema accende due o tre punti della terna, variandone anche l'intensità di colore. È così possibile ottenere sottili distinzioni di colore a livello di ciascun pixel e visualizzare milioni di colori.

La differenza tra i metodi di riproduzione dei colori delle stampanti e dei monitor è alla base dei problemi di corrispondenza tra i colori a video e quelli stampati, con il risultato che quanto viene visualizzato non sempre corrisponde a quanto stampato.

Gamma cromatica e risoluzione delle stampanti

Stampanti bilivello e multilivello

Per quanto riguarda la qualità di stampa, uno dei problemi che si incontrano con la maggior parte delle unità è la presenza di una retinatura visibile nei grafici e nelle immagini fotografiche. Il problema consiste nel fatto che le immagini generalmente contengono gradazioni di colore o di grigio, ma la maggioranza delle stampanti non è in grado di riprodurre effettivamente le sfumature poiché, in un dato punto, un determinato colore o appare o non appare e si parla quindi di **stampanti bilivello**. L'espedito più comune per aggirare questo ostacolo è rappresentato dalla retinatura, per mezzo della quale i punti sulla pagina sono combinati in modo da ingannare l'occhio, facendogli vedere sfumature e colori che in realtà non esistono.

Una stampante monocromatica è in grado di tracciare i punti dell'immagine su una griglia divisa in piccole celle di retinatura, ognuna delle quali è costituita da un numero arbitrario di spot. Ognuna di queste celle può essere trattata come un singolo elemento dell'immagine (**pixel**). Ad esempio, se una cella fosse costituita da una matrice 5x5, sarebbe possibile stampare ogni pixel in uno dei 26 valori di grigio possibili (da 0, il bianco puro, attraverso tonalità crescenti di grigio), usando da 0 a 25 spot stampati per ogni pixel.

Per le stampanti in quadricromia, si applica lo stesso principio per ogni canale cromatico. Quindi, con 26 possibili valori tonali per ciascuno degli inchiostri ciano, magenta e giallo, si possono creare $26^3 = 17.576$ colori.

La contropartita da pagare per questo trucco è che la risoluzione reale della stampante è data dal numero di celle di dithering. Con una matrice 5x5, la risoluzione effettiva di un'unità da 300 dpi è di soli $300/5 = 60$ dpi. Un altro problema è che un blocco di celle di identico colore può mostrare un modello visibile, come quello delle mattonelle di una pavimentazione. Modifiche nell'implementazione della retinatura possono ridurre la visibilità di questi modelli, che rimangono comunque presenti.

Per evitare completamente la retinatura, bisogna ricorrere a tecnologie come la stampa a sublimazione termica, grazie alla quale è possibile riprodurre i colori primari ciano, magenta e giallo in **256 livelli** differenti. Sovrapponendo i tre colori base, per ogni singolo punto si possono ottenere $256^3 = 16.777.216$ colori. Infatti, il processo a sublimazione produce punti di dimensione sufficientemente piccola perché l'occhio umano non riesca a percepire il passaggio da una tinta all'altra senza una lente di ingrandimento.

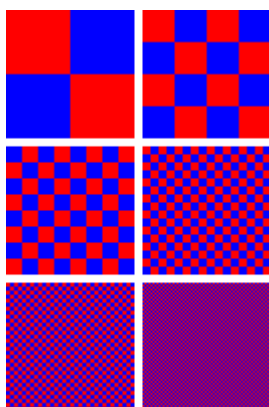
Le **stampanti multilivello**, a differenza di quelle bilivello, possono produrre più di una sfumatura di colore per punto, ma non 256 sfumature come quelle a sublimazione. Pertanto, hanno ancora bisogno del dithering per produrre 16,7 milioni di colore, anche se non utilizzano così tanti punti per cella per simulare questa ampiezza cromatica. Per alcune immagini, la stampa multilivello può nascondere completamente il dithering, ma i risultati non sono ancora al livello di una reale stampante a tono continuo.

Va anche notato che celle di dithering più piccole equivalgono a una risoluzione effettiva superiore. Una stampante laser multilivello da 16 livelli, mostra in realtà un dithering inferiore operando a 600 x 300 dpi in modalità multilivello che non a 600 x 600 dpi in modalità bilivello.

Quindi la risoluzione in dpi è importante, ma non indica tutto quello che c'è da sapere su una stampante. Il numero di livelli che una stampante può produrre è altrettanto importante per un output grafico di qualità.

Dithering

Come già accennato in precedenza, il dithering serve a creare l'illusione della profondità di colore con una tavolozza limitata (**quantizzazione del colore**). In un'immagine sottoposta a dithering, i colori non disponibili vengono approssimati dalla distribuzione dei pixel colorati con le tinte disponibili, che l'occhio umano percepisce come un amalgama dei colori. Le immagini trattate con il dithering, soprattutto quelle dove si utilizzano pochi colori, possono apparire granulose o composte da puntini.



Applicazione del dithering. I soli colori usati sono il rosso ed il blu, ma il colore appare violetto al rimpicciolirsi dei pixel.

Ridurre la profondità del colore di un'immagine spesso causa effetti collaterali indesiderati. Se l'immagine originale è una fotografia, probabilmente i colori saranno migliaia, o addirittura milioni. Limitarne il numero fa, ovviamente, perdere qualità all'immagine.

Dei molti fattori che possono modificare la qualità risultante, probabilmente il più significativo è l'ampiezza della tavolozza usata. Ad esempio, un'immagine di alta qualità (figura 1) può essere ridotta con una tavolozza a 256 colori (**Web-safe colors**).

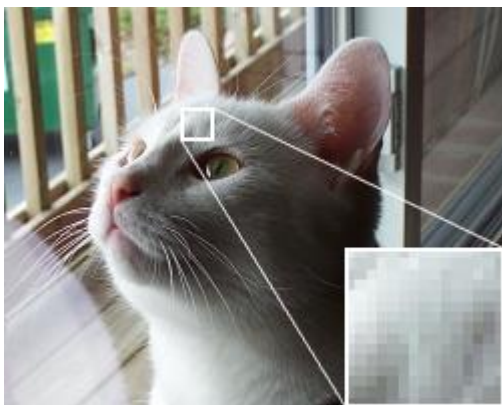


Figura 1. Fotografia originale. Notare la sfumatura del colore nel dettaglio.

Se i colori dei pixel originali venissero semplicemente convertiti nel colore più simile tra quelli disponibili, non si avrebbe applicazione del dithering (figura 2).

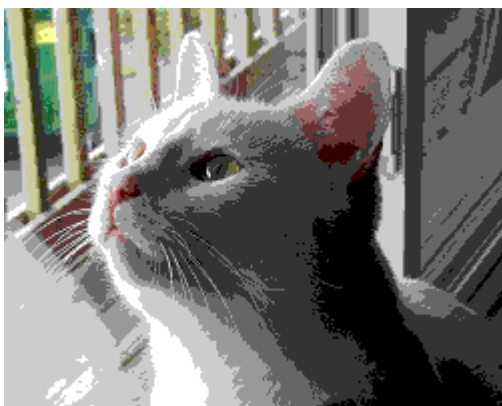


Figura 2. Immagine originale a cui è stata applicata una tavolozza limitata (web-safe color palette), senza applicazione del dithering. Notare le ampie aree con colore uniforme e la perdita di dettagli.

Normalmente, questo approccio porta ad aree di colore uniforme e perdita di dettaglio, generando macchie di colore molto diverse dall'originale. Le aree sfumate appaiono a strisce (**effetto banding**). L'applicazione del dithering può aiutare a limitare questi artefatti visivi e, di solito, crea un'immagine più simile all'originale (figura 3), riducendo il banding e la piattezza dei colori.



Figura 3. Immagine originale con web-safe color palette e l'applicazione dell'algoritmo di Floyd-Steinberg. Anche se usiamo la stessa tavolozza, l'applicazione del dithering genera un'immagine più simile all'originale.

Uno dei problemi legati all'uso di tavolozze preimpostate è la mancanza di molti dei colori necessari e la presenza di molti colori non necessari. Ad esempio, una tavolozza contenente molte sfumature di verde è controindicata se non si usa questo colore nell'immagine. In questi casi è indicato l'uso di tavolozze ottimizzate scegliendo i colori in base alla loro frequenza nell'immagine originale. L'immagine ottenuta presenta ulteriori miglioramenti rispetto alla precedente (figura 4).

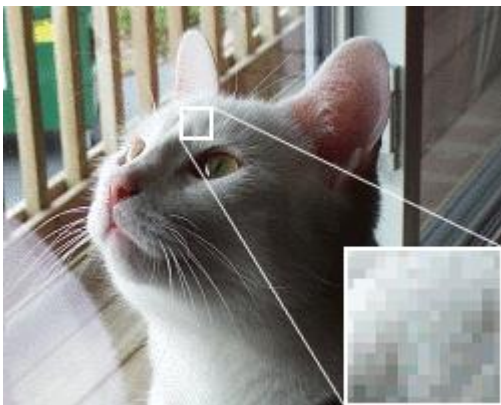


Figura 4. In questo caso, l'originale è stato ridotto ad una tavolozza ottimizzata a 256 colori applicando l'algoritmo di Floyd-Steinberg. L'uso di una tavolozza ottimizzata, piuttosto che di una preimpostata, permette di migliorare ulteriormente l'immagine.

Il numero di colori disponibili nella tavolozza è un dato importante. Se, ad esempio, è composta da soli 16 colori, l'immagine perderà altri dettagli, oltre a fare registrare un incremento dell'effetto banding (figura 5).

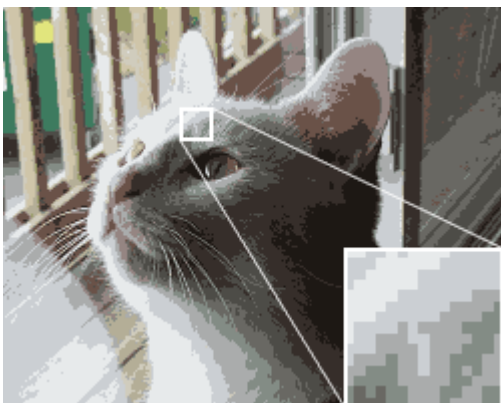


Figura 5. Profondità ridotta a 16 colori (ottimizzati) e niente dithering. Il colore appare a strisce.

Ancora una volta, il dithering permette di aggirare il problema (figura 6).

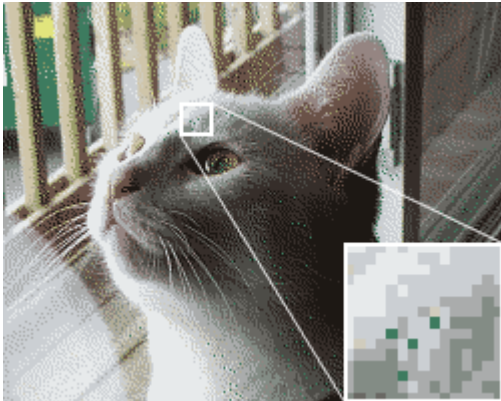


Figura 6. Stessa immagine con 16 colori ottimizzati, ma è applicato il dithering per ridurre il banding (effetto a strisce).

Algoritmi di dithering

Esistono molti algoritmi creati per l'applicazione del dithering. Uno dei primi, ed ancora tra i più popolari, è l'**algoritmo di Floyd-Steinberg**, sviluppato nel 1975. Uno dei punti di forza di questo algoritmo è la sua capacità di minimizzare gli artefatti visivi attraverso un processo di diffusione dell'errore; solitamente produce immagini più simili all'originale rispetto a quanto fatto da altri algoritmi.

Tra gli altri metodi, si segnalano i seguenti:

- **Dithering ponderato (Average Dithering)** – si basa sulla selezione di un valore soglia e sull'assegnazione di valori ai pixel in funzione della differenza rispetto ad esso; comporta un'evidente perdita di dettaglio e di definizione.
- **Dithering ordinato (Ordered Dithering)** – si basa su uno schema fisso, usando come valore soglia per ciascun pixel il valore dello schema nella posizione corrispondente; schemi diversi possono generare effetti completamente differenti.
- **Dithering casuale (Random Dithering)** – si basa sulla generazione di un valore soglia casuale e sull'assegnazione di valori ai pixel in funzione della differenza rispetto ad esso; sebbene non generi artefatti visivi, tende a ridurre i dettagli.
- **Dithering di Jarvis (Jarvis Dithering)** – si basa sulla diffusione dell'errore di un pixel a quelli adiacenti; ha un impatto visivo evidente, ma presenta meno artefatti.

Algoritmi di dithering (I)

Originale a 256 toni

Riproduzione in funzione dell'algoritmo



Atkinson



Bayer



Burkes



Filter Lite



Floyd-Steinberg



Halftone



Algoritmi di dithering (II)

Originale a 256 toni

Riproduzione in funzione dell'algoritmo



Hilbert-Peano



Jarvis



Random



Scolorq



Sierra



Stucki



Algoritmi di dithering (III)

Originale a 256 toni

Riproduzione in funzione dell'algoritmo



Threshold



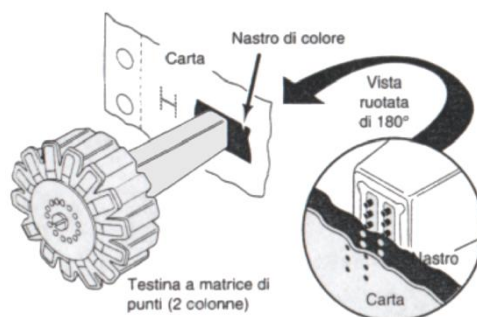
Two-row Sierra

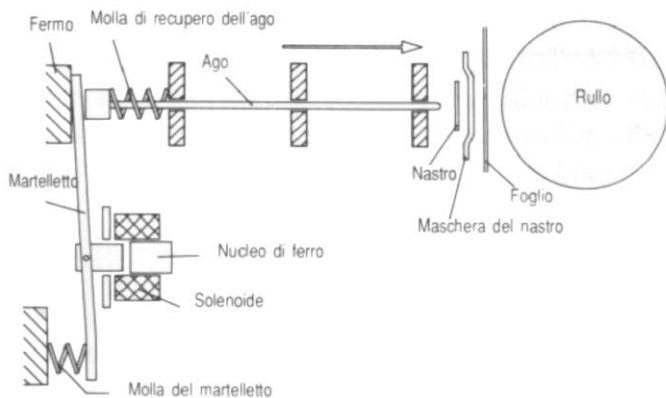


Stampanti a matrice di aghi

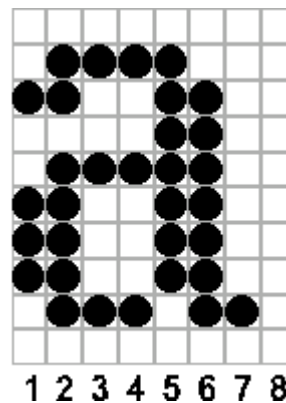
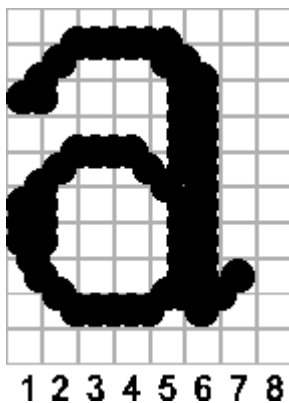
Sono state le prime periferiche di stampa non derivate direttamente dalle macchine da scrivere.

La testina di stampa è dotata di piccoli martelletti, o aghi, che esercitano una forza d'impatto sul nastro e sul supporto di stampa (carta nella maggior parte dei casi), trasferendo l'inchiostro dall'uno all'altro e formando così l'immagine. La testina si muove orizzontalmente, in parallelo al rullo per il trasporto della carta.





Ad esempio, nel caso di una testina a 9 aghi, il carattere minuscolo "a" sarà formato premendo il 3°, 6°, 7° e 8° ago della prima colonna, poi il 2°, 3°, 5°, 6°, 7°, 8° e 9° della seconda e via di seguito sino a completare la matrice. Per ottenere caratteri più definiti si possono inserire punti più vicini o sovrapporli. Più gli spazi sono ravvicinati, più elevata sarà la definizione del carattere al termine della stampa.



La definizione dei caratteri può anche essere migliorata utilizzando più aghi nella testina di stampa, tipicamente 9, 18 o 24 aghi. La maggior parte delle testine a 18 aghi, comunque, è formata da due file di nove aghi ed il risultato di stampa è equivalente ad una stampante a 9 aghi. Le due file di 9 aghi normalmente permettono una maggior durata e/o una velocità di stampa più elevata.

Proprio a causa della matrice di costruzione del carattere di tipo non proporzionale, questa periferica ordina i caratteri in un numero fisso di colonne, 80 per il formato A4 e 132 per quello A3, indipendentemente dal font utilizzato.

Nata come stampante monocromatica per la riproduzione di testi, si è cercato di adattarla anche alla stampa di immagini mediante appositi driver e nastri CMY. Ma, oltre al rumore dovuto alla tecnologia ad impatto, la

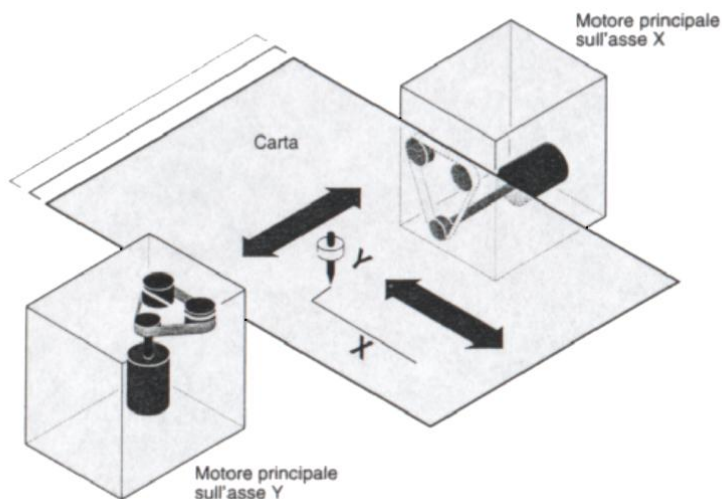
velocità, la risoluzione e la qualità dei colori sono decisamente insufficienti. La riproduzione appare quindi grossolana anche impiegando martelletti minuscoli, i colori non sono saturi e la loro sovrastampa può imbrattare il nastro ed alterare ulteriormente le riproduzioni.

Attualmente, è utilizzata esclusivamente per la stampa su moduli a ricalco, dove risulta indispensabile la tecnologia ad impatto.

Plotter a penna

I plotter a penna erano impiegati per la tracciatura di disegni tecnici (CAD), in cui le riproduzioni sono costituite da linee con un numero di colori limitato su formati di grandi dimensioni, ed utilizzavano motori computerizzati per gestire fino a otto diverse penne.

Inizialmente, i plotter erano di tipo piano, con il tracciato del disegno ottenuto combinando i movimenti della penna lungo i due assi ortogonali X e Y, su un foglio di carta o di lucido. Successivamente, si è passati ai plotter a rullo, più compatti grazie al tracciato del disegno ottenuto combinando il movimento della penna lungo il solo asse X con quello della carta lungo l'asse Y.





Nonostante fossero dispositivi affidabili ed in grado di realizzare linee chiare e nitide, i plotter a penna erano comunque lenti, in quanto disegnavano una linea per volta e riproducevano le zone piene mediante il tratteggio incrociato, e con una gamma di colori molto limitata. Di conseguenza erano del tutto inadeguati per impieghi grafici complessi e fotografici.

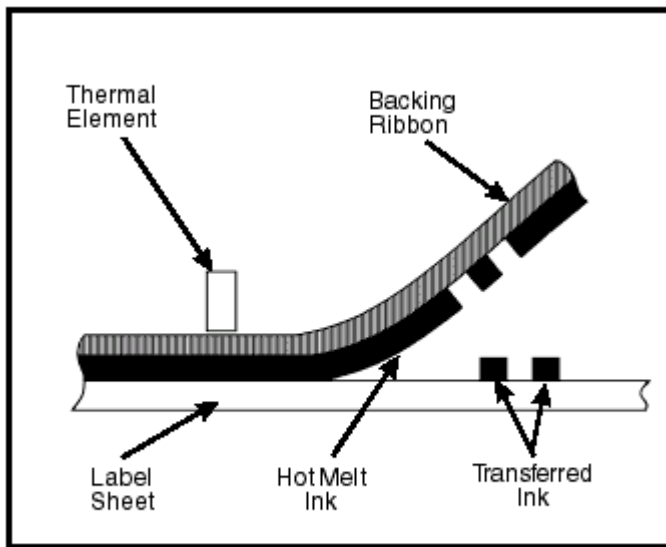
La loro produzione è cessata con la fine del secolo scorso, a favore dei plotter inkjet che, dimensioni a parte, sono fondamentalmente delle stampanti a getto di inchiostro, quindi molto rapidi e di impiego estremamente flessibile.

Stampanti a trasferimento termico

La stampa a trasferimento termico è stata la prima tecnologia affidabile ed economicamente conveniente in grado di offrire colori di buona qualità.

Il processo fondamentale del trasferimento termico consiste nell'utilizzare pannelli di cera colorata da riscaldare e fondere su carta di composizione particolare o su trasparenti per proiezioni. Il rullo di trasferimento termico è suddiviso in fogli consecutivi in formato pagina, costituiti da pigmenti di cera. Questi pannelli sono fogli completi di ciascun colore fondamentale C,

M, Y, K. Nella testina termica, migliaia di elementi comandati singolarmente sono riscaldati a 70-80 °C, per fondere minuscoli punti di colore sulla carta.



Thermal Transfer Printing

La carta passa per 3-4 volte sotto la testina (una per ciascun colore fondamentale, oltre a un passaggio opzionale per il *true black*, cioè il nero vero e proprio). Gli altri colori vengono creati mediante tecniche di dithering.



Questa tecnologia è stata ormai abbandonata in campo grafico e fotografico ed è relegata alla stampa di codici a barre ed etichette.

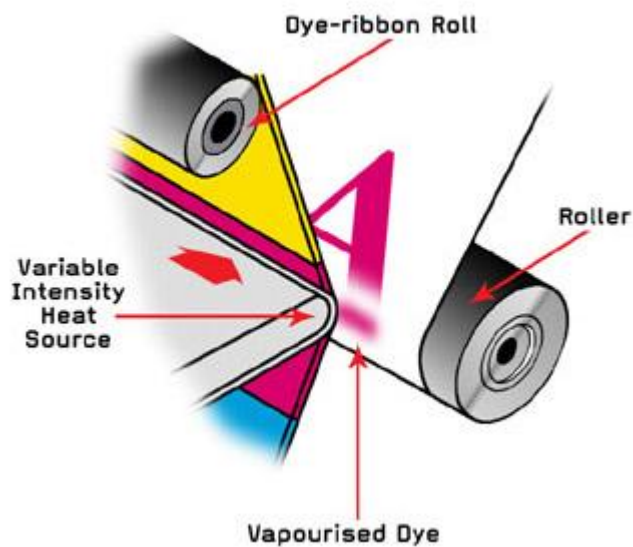
Stampanti a sublimazione

La sublimazione del colore è una tecnologia di stampa a colori di elevate prestazioni, analoga a quella a trasferimento termico. Normalmente, gli inchiostri sono stesi su nastro formando sequenze di pannelli dei tre colori base.



La testina di stampa dell'unità contiene migliaia di elementi che, riscaldati fino a temperature prossime ai 400 °C, producono calore in quantità variabile, in funzione della gradazione cromatica da riprodurre. Mentre nel trasferimento termico lo strato di colore viene steso sulla superficie della carta, nel processo di sublimazione il colore impregna la carta stessa.

La speciale composizione degli inchiostri, a base di cere, implica la possibilità di controllare la quantità di colore trasferito alla carta, variando la quantità di calore generato nei diversi punti della testina di stampa. Ciò consente di variare l'intensità del colore, ottenendo pertanto una stampa a tono continuo.



Ad esempio, per creare una determinata gradazione di colore per un singolo pixel, è possibile stendere il 19% di ciano, il 65% di magenta e il 34% di giallo.

Il riscaldamento dell'inchiostro ne provoca il passaggio dallo stato solido allo stato vapore, senza passare per lo stato liquido; si tratta quindi di un processo di **sublimazione**, da cui deriva il nome di questa tecnologia di

stampa. I vapori dei vari coloranti diffondono verso la carta, dove risolidificano, mescolandosi a formare toni continui; questo significa che è possibile ottenere 16,7 milioni di tinte per ogni singolo pixel.

I pigmenti vaporizzati permeano la superficie della carta, determinando bordi degradanti, invece che netti, tra un pixel e quelli adiacenti. Inoltre, poiché diffondono nella carta, sono anche meno soggetti a scolorimento ed alterazione nel corso del tempo.

La sublimazione del colore consente di ottenere riproduzioni di qualità estremamente elevata, in particolare nel caso della stampa di immagini fotografiche o a tono continuo. Per raggiungere risultati di alta qualità, questo processo utilizza carta sintetica speciale (carta con rivestimento in poliestere).

La stampa è eseguita in tre passaggi, depositando uno sull'altro il ciano, il magenta ed il giallo; infine, si deposita uno strato trasparente ed incolore che protegge l'immagine dall'azione decolorante degli UV.

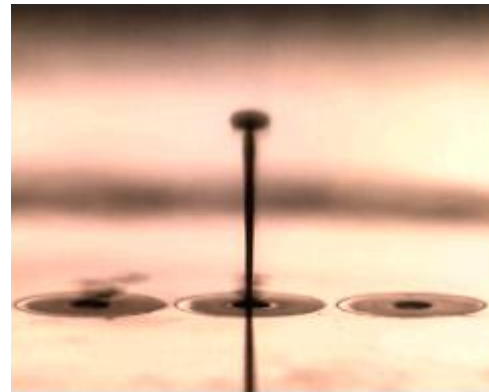
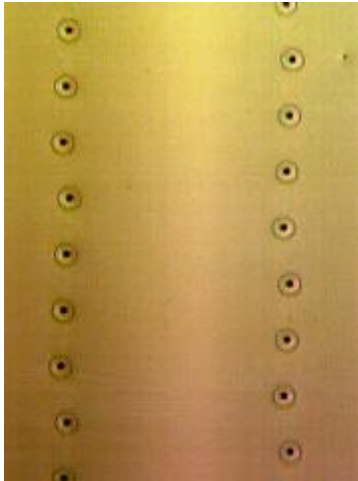
Sebbene la tecnologia a sublimazione sia in grado di fornire eccellenti risultati, risulta comunque costosa. Infatti, anche nel caso che una particolare immagine non necessiti di uno dei pigmenti, il corrispondente segmento di nastro rimarrebbe definitivamente inutilizzabile.

I limiti di queste stampanti sono i seguenti:

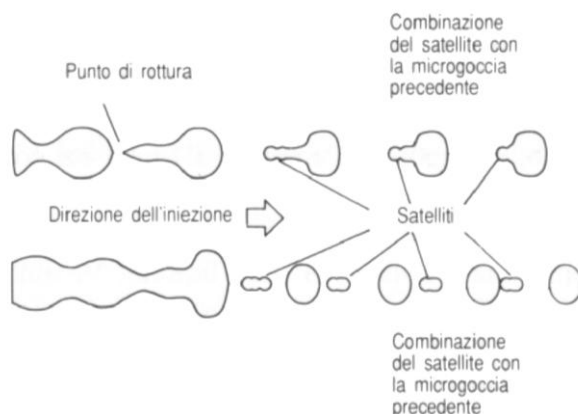
- costo per copia elevato,
- impiego di carta speciale,
- riproduzione di testi e linee sottili di scarsa qualità in alcuni tipi di stampanti,
- lentezza di stampa (qualche minuto per pagina, in funzione delle dimensioni delle immagini).

Stampanti a getto di inchiostro liquido

Note anche come **stampanti inkjet**, queste unità impiegano testine di stampa dotate di ugelli per spruzzare l'inchiostro, suddiviso in gocce, sulla superficie della carta.



Le gocce sono in realtà **microgocce** con diametri dell'ordine delle decine di micrometri. Per generare queste particelle minuscole ad alta velocità e con grande precisione, sono necessari iniettori capillari con diametri, a loro volta, dell'ordine delle decine di micrometri. Le particelle di inchiostro si formano a seguito della frattura del getto in uscita dall'ugello, per via della **tensione superficiale**, e tendono ad assumere una forma sferica o quasi sferica. In questa fase iniziale, a causa della loro velocità, le microgocce hanno però forme irregolari e tendono a suddividersi in particelle ancora più piccole denominate **satelliti**. Poiché la distanza tra le microgocce non supera 0,6 mm (pari alla distanza massima tra testina e supporto di stampa), difficilmente i satelliti raggiungono la carta separatamente da esse. La qualità di stampa dipende dalla fusione delle microgocce con i satelliti: l'unione del satellite con la particella che lo precede o lo segue porta, infatti, a risultati diversi.



La scrittura della pagina è eseguita per strisce di pixel in parallelo, con un movimento di scansione che è il risultato del moto trasversale (orizzontale)

della testina di stampa e del moto longitudinale (verticale) della carta, trasportata dalla rotazione del rullo di trascinamento.

Di norma, la testina di stampa impiega circa 0,5 s per stampare una striscia. Poiché i fogli A4 sono larghi circa 8,5 pollici e la stampante lavora con una risoluzione minima di 300 dpi, i punti orizzontali della pagina sono almeno 2475. Quindi, la testina di stampa dispone di circa 1/5000 s per attivare/disattivare la proiezione sul supporto di stampa delle singole gocce attraverso i suoi microscopici ugelli. Il driver della stampante determina la sequenza di attivazione e disattivazione di ciascun ugello nel corso della stampa.

La stampa a getto di inchiostro liquido è in grado di offrire colori brillanti e altamente saturi. Tuttavia, per ottenere tali risultati, è necessario l'impiego di carta da stampa speciale di tipo patinato. La carta semplice rappresenta un problema per tutti i tipi di stampanti a getto di inchiostro liquido, in quanto l'inchiostro penetra nella carta e si mescola all'inchiostro dei pixel adiacenti, alterando la luminosità e la definizione dei colori. Inoltre l'immagine stampata non risulta asciutta (soprattutto su trasparenti o carta speciale), il che può provocare sbavature e richiedere tempi di asciugatura eccessivi.

La densità degli ugelli varia tra 300 e 600 dpi, con risoluzioni che possono eccedere i 1200 dpi. La velocità di stampa dipende dalla frequenza di attivazione e disattivazione degli ugelli e dalla larghezza delle strisce stampate dalla testina ad ogni passata sul foglio. Le stampanti attualmente reperibili in commercio raggiungono velocità di stampa di circa 20 pagine/minuto in monocromia e 10 pagine/minuto in quadricromia, con valori leggermente inferiori nel caso di unità di qualità fotografica.

Per favorire una qualità ottimale e costante della stampa, le stampanti sono dotate di sistemi di spurgo automatici, che hanno lo scopo di mantenere puliti e liberi i condotti e gli ugelli delle testine.

Negli ultimi anni la tecnologia a getto di inchiostro è stata applicata anche ai plotter (sia per disegno tecnico, sia per arti grafiche). I plotter inkjet hanno rapidamente soppiantato quelli a penna in virtù della maggiore flessibilità di impiego e velocità e qualità di stampa e dei minori costi di acquisto ed esercizio.



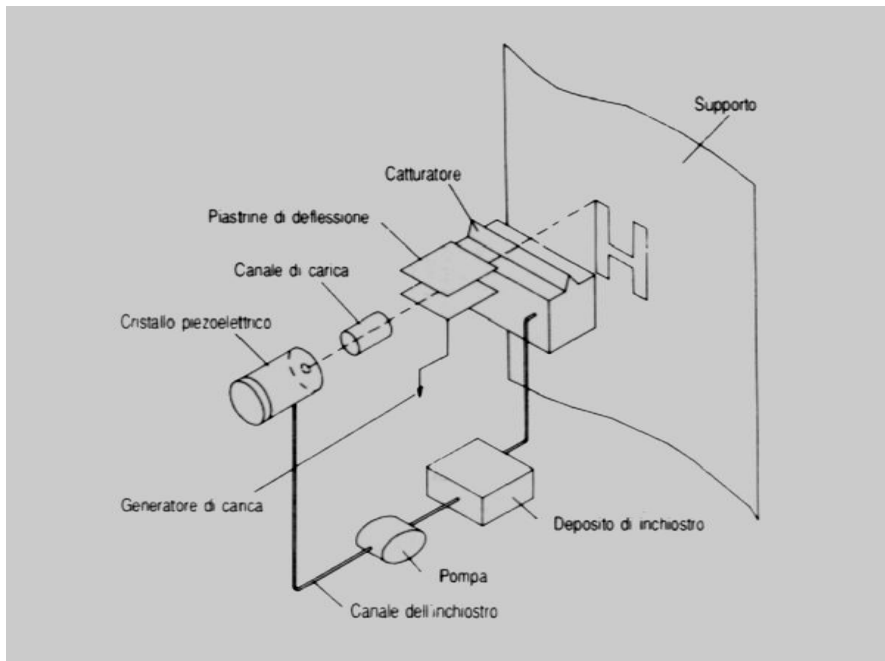
Le stampanti a getto di inchiostro possono essere di due tipi: ***continuous flow (flusso continuo)*** e ***drop on demand (rilascio a richiesta)***; le seconde rappresentano lo standard di mercato.

Continuous flow

Questa tecnologia si basa sulla proiezione continua di inchiostro caricato elettricamente da parte della testina per l'intera durata della stampa, indipendentemente dal fatto che le gocce debbano o non debbano giungere sulla pagina. Il processo di stampa è costituito dalle seguenti fasi:

- una pompa richiama l'inchiostro dal serbatoio e lo invia sotto pressione alla testina;
- il getto continuo transita in una camera di accelerazione costituita da un cristallo piezoelettrico tenuto in vibrazione con ultrasuoni;
- in uscita dall'ugello, il getto attraversa il canale di carica, suddividendosi in microgocce che vengono caricate elettricamente;
- nella loro corsa verso la carta, le microgocce di inchiostro transitano tra due piastine di deflessione, il cui campo elettromagnetico serve a

deviare quelle non necessarie alla stampa verso il catturatore, che le rimanda al serbatoio.



Questa tecnica consente di ottenere eccellenti risultati, ma i suoi elevati costi di acquisto e di esercizio l'hanno relegata in una piccola nicchia del settore delle stampe d'arte.



Drop on demand

La testina di stampa invia sulla carta solo le gocce di inchiostro utili al processo di stampa. Il numero complessivo di ugelli è di alcune decine e ognuno di essi controlla un singolo punto di stampa. L'inchiostro è

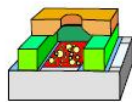
conservato in cartucce sotto vuoto e non è previsto alcun sistema di ricircolo, poiché non vi sono scarti. Per spruzzare le microgocce, si utilizza un meccanismo ad impulsi:

- tramite il canale di alimentazione l'inchiostro giunge all'interno del distributore, posto immediatamente dietro la testina;
- il sistema di pompaggio riempie di inchiostro gli iniettori vuoti;
- all'interno di ciascun iniettore l'inchiostro è trasportato attraverso un capillare in direzione del relativo ugello, disposto insieme agli altri a formare una matrice;
- la microgoccia è quindi inviata verso la carta.

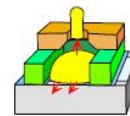
I sistemi di pompaggio attualmente in uso sono due: **testina termica (a bolle)** e **testina piezoelettrica**.

Testina termica

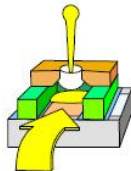
Utilizza il calore generato da un elemento riscaldatore per vaporizzare una parte dell'inchiostro, con conseguente formazione e dilatazione di una bolla che spinge il liquido rimanente attraverso l'ugello, dirigendolo verso la carta; a questo punto, la disattivazione del riscaldatore permette di richiamare altro inchiostro dal serbatoio alla testina di stampa.



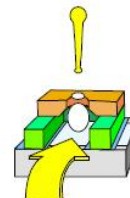
1. Nucleazione della bolla
Il rapidissimo riscaldamento della resistenza (<3 microsecondi) genera la formazione di vapore nell'inchiostro.



2. Crescita della bolla
In circa 10-15 microsecondi il vapore forma una bolla che cresce fino a generare una goccia d'inchiostro.



3. Formazione della goccia
La bolla di vapore spinge fuori dall'ugello la goccia e collassa: nuovo inchiostro riempie la cameretta (20-30 microsecondi).

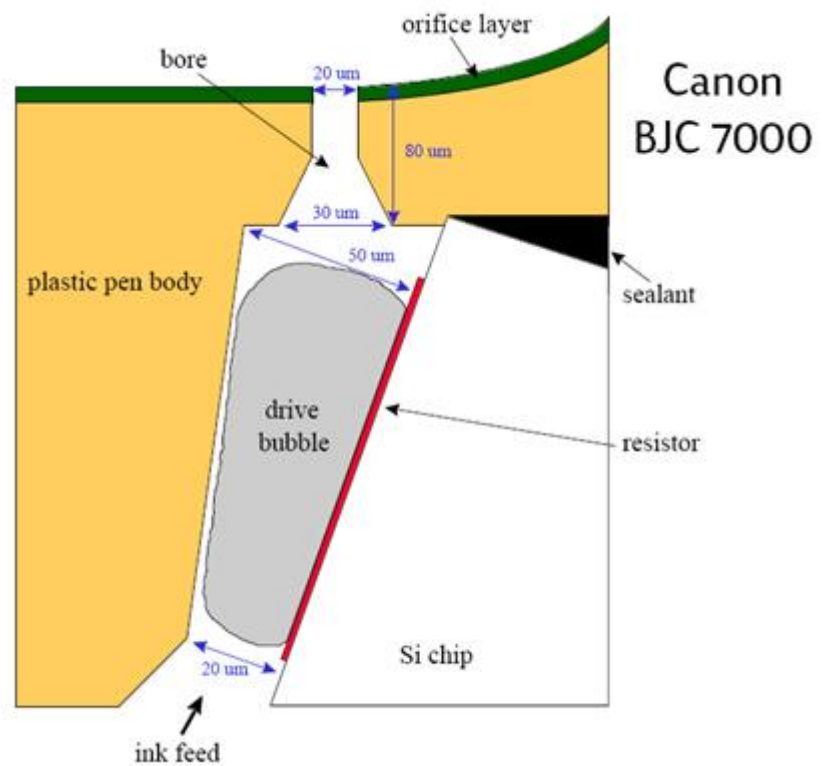


4. Refill
Il riempimento della cameretta avviene in circa 100 microsecondi e questo fino a 10.000 volte al secondo.

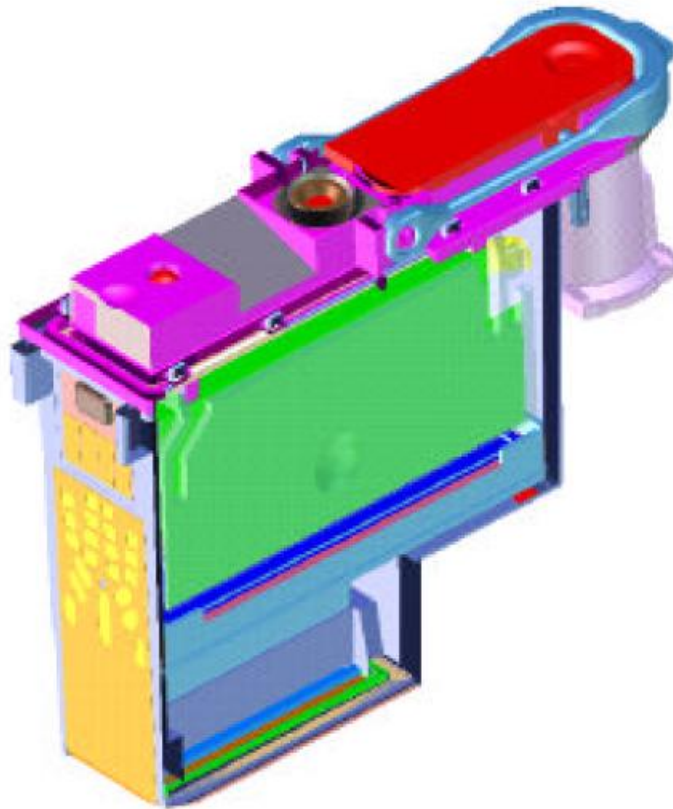
Formazione della goccia d'inchiostro all'interno di una microcamera

Le attuali testine di stampa dispongono di alcune centinaia di ugelli ad azionamento indipendente. Gli ugelli raggiungono ormai diametri di 20 μm (per confronto, il diametro dei capelli umani è pari a circa 70 μm), con diametri dei punti di inchiostro dello stesso ordine di grandezza. Il punto più piccolo visibile ad occhio nudo è di circa 30 μm . Gli ugelli sono in grado di erogare microgocce con volumi di 8 - 10 pl o meno, dove:

$$1 \text{ pl (picolitro)} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ l}$$









Il costo contenuto delle testine termiche per stampanti inkjet di fascia medio-bassa porta ad integrarle nelle cartucce di inchiostro. In questo modo, sono sostituite ad ogni cambio di cartuccia, semplificando la manutenzione delle relative stampanti.



Nelle stampanti di fascia alta ed in quelle per grandi formati, si preferisce invece utilizzare gruppi di testine permanenti e cartucce intercambiabili, anche per ragioni di autonomia.

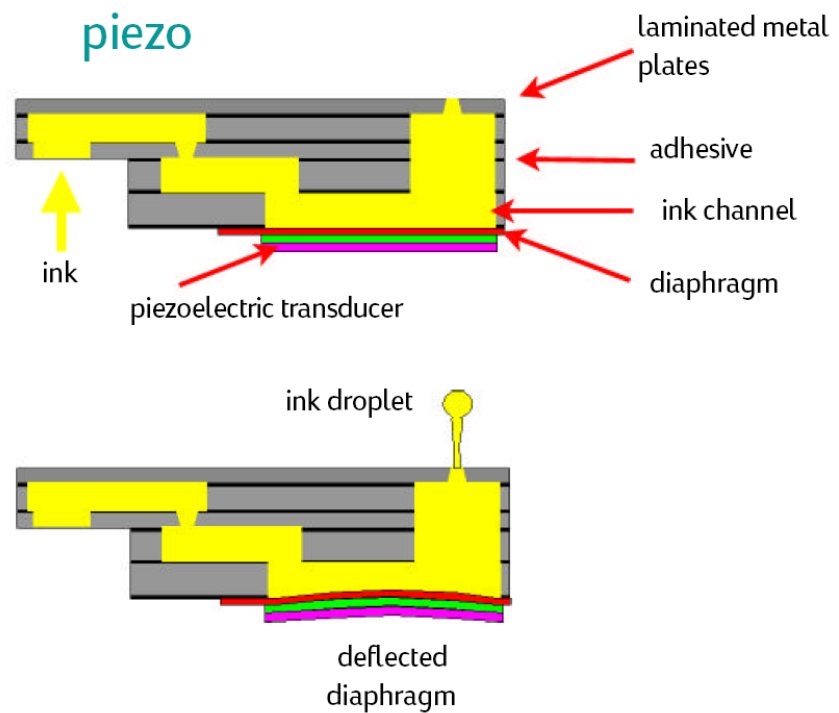


La tecnologia delle testine termiche pone due vincoli alle prestazioni delle stampanti che ne sono dotate. Il primo comporta l'impiego di inchiostri termoresistenti, poiché il processo di proiezione delle microgocce si basa sulla somministrazione di calore. Il secondo impone di fare seguire ad ogni riscaldamento un raffreddamento, limitando così la velocità di stampa.

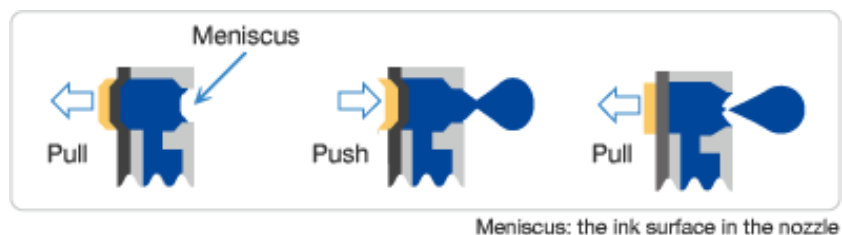
Evoluzione delle testine termiche HP, 1985 – 1999		
Anno	Schema testina	Caratteristiche
1985		Ugelli : 12 Frequenza : 1,2 kHz Risoluzione : 96 dpi V goccia : 180 pl
1987		Ugelli : 50 Frequenza : 5 kHz Risoluzione : 300 dpi V goccia : 85 pl
1993		Ugelli : 104 Frequenza : 8 kHz Risoluzione : 300 dpi V goccia : 77 pl
1995		Ugelli : 300 Frequenza : 8 kHz Risoluzione : 600 dpi V goccia : 35 pl
1998		Ugelli : 304 Frequenza : 12 kHz Risoluzione : 600 dpi V goccia : 8 pl
1999		Ugelli : 512 Frequenza : 12 kHz Risoluzione : 600 dpi V goccia : 12 pl

Testina piezoelettrica

Sfrutta le deformazioni elastiche indotte in un elemento piezoelettrico da un campo elettrico.



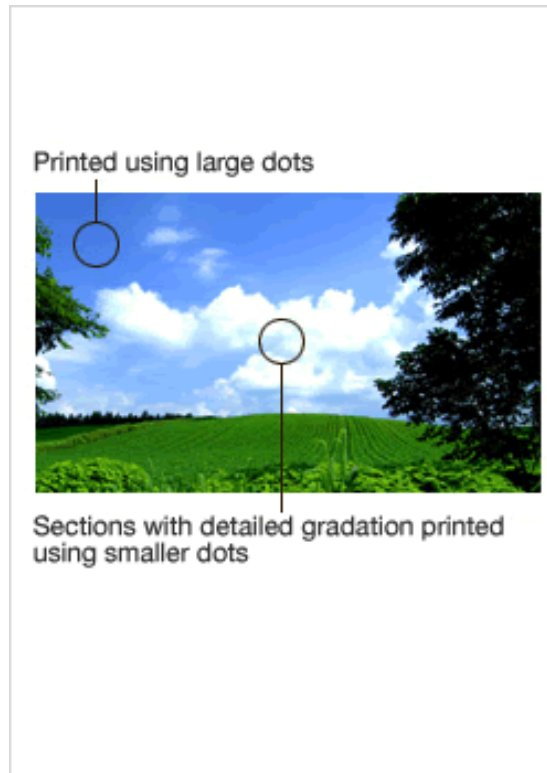
Il trasduttore piezoelettrico è costituito da una microlamina di quarzo che si deforma ampliando inizialmente la camera di pressione, con richiamo di inchiostro dal serbatoio, e contraendo successivamente la stessa, con compressione e conseguente espulsione del liquido dall'ugello.

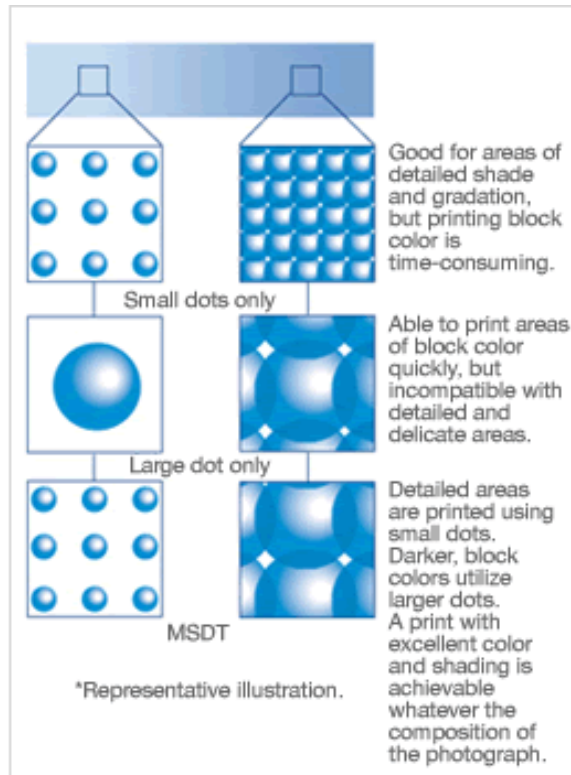


L'adozione della tecnologia piezoelettrica comporta un controllo più preciso della forma e delle dimensioni delle microgocce di inchiostro. Le microescursioni della lamina di quarzo consentono di ridurre le dimensioni delle microgocce e di aumentare la densità e quindi il numero di ugelli della testina di stampa. Inoltre, rispetto alle testine termiche, si ha il vantaggio dell'eliminazione del ciclo di riscaldamento e raffreddamento, potendo così impiegare inchiostri adatti ad essere assorbiti in

modo ottimale sul supporto di stampa piuttosto che per resistere alle alte temperature.

La capacità dimostrata da questa tecnologia di generare microgocce di dimensioni variabili con estrema precisione (fino al limite inferiore attuale di 3 pl), in funzione delle esigenze di stampa, consente di raggiungere risoluzioni ottimizzate fino a 5760 dpi.





Questo risultato è ottenuto raddoppiando il numero di passaggi della testina di stampa, con un'evidente penalizzazione in termini di velocità di stampa. Al contrario degli inchiostri a base acquosa della tecnologia termica, quelli della tecnologia piezoelettrica utilizzano come veicolo specifici solventi per un'essiccazione estremamente rapida. Di conseguenza, le microgocce formano punti che non tendono ad allargarsi sulla carta, soprattutto se trattata o lucida.

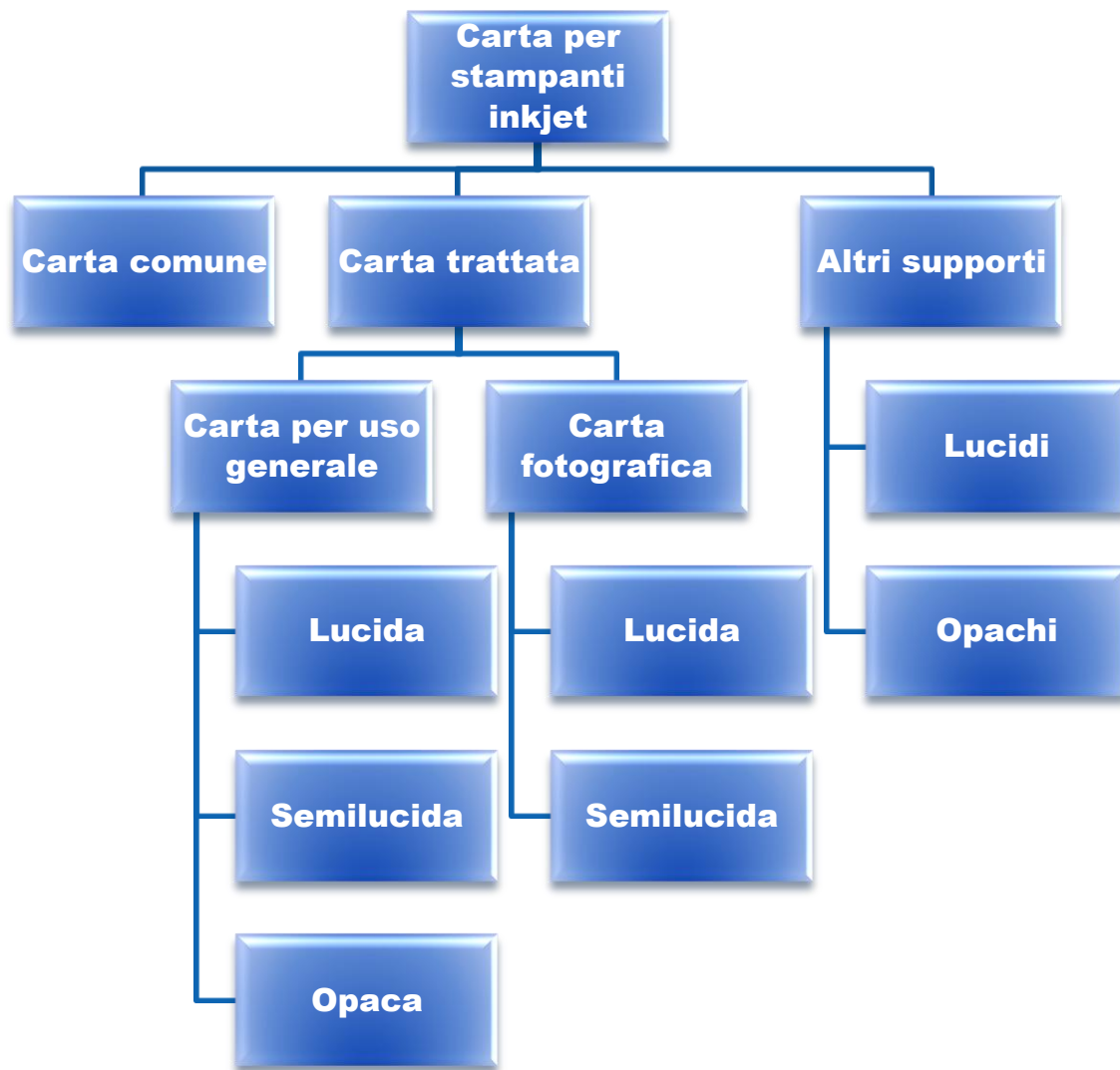
Le testine di stampa piezoelettriche sono più complesse da produrre rispetto a quelle termiche e quindi anche più costose. Pertanto, in tutti i modelli di stampanti che le utilizzano, si opta per gruppi di testine permanenti e cartucce intercambiabili.



Carta per stampanti inkjet

Poiché tutti i produttori utilizzano differenti descrizioni delle categorie commerciali, le carte per stampanti inkjet sono reperibili sotto denominazioni variabili e, non di rado, unicamente in lingua inglese: carta lucida (glossy paper), carta di qualità fotografica (photo-quality paper), carta fotografica (photo paper), carta trattata (coated paper), carta opaca (matte paper), carta comune (plain paper), carta non trattata (non-coated paper), ecc.

Le carte e gli altri supporti (ad esempio, i lucidi) per la stampa inkjet sono così classificabili:



La classificazione tiene conto dell'eventuale presenza di uno specifico strato recettore dell'inchiostro proiettato dalla stampante. Le carte prive di questo strato superiore sono denominate **carte comuni o carte non trattate** e quelle che invece ne sono dotate sono le **carte trattate**.

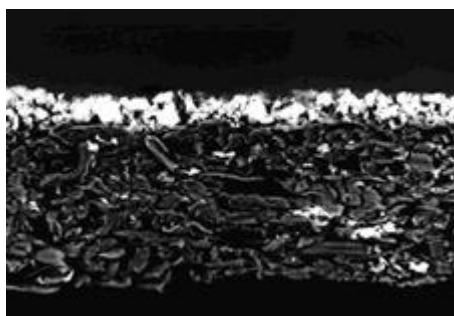
La carta trattata conferisce all'immagine una nitidezza ed un'ampiezza tonale e cromatica nettamente superiori rispetto alla carta comune, in quanto lo strato recettore è specificamente studiato per fissare sulla superficie l'inchiostro. La carta comune può essere suddivisa in vari tipi, in funzione della sua finitura superficiale: lucida, semilucida, opaca, ecc.

Tutte le carte comuni presentano superfici opache, sono economiche e sono adatte alla stampa a colori di pagine costituite essenzialmente da testo e grafici.

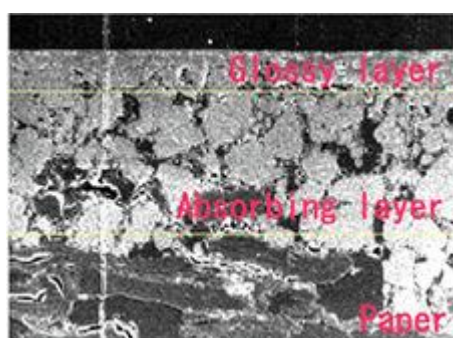
La stampa su altri materiali, quali lucidi, tessuti e lamine metalliche, diventa fattibile previa deposizione di uno strato recettore dell'inchiostro sulla loro superficie.

Carta trattata

È destinata esclusivamente all'impiego con le stampanti inkjet, al fine di ottenere la migliore qualità dell'immagine, ed è la più venduta. La fotografia sottostante è una sezione trasversale al microscopio di una tipica carta per inkjet:



Le carte per inkjet si suddividono in **carte lucide, carte semilucide e carte opache**, in funzione della loro finitura superficiale, e sono tutte in grado di generare immagini a colori di elevata definizione e qualità. Le carte lucide hanno lo stesso grado di finitura di quelle calandrate e sono quindi molto lucide. Le carte semilucide hanno la stessa finitura di quelle per usi artistici e sono quindi solo leggermente lucide. I **materiali trasparenti (o lucidi)** possono essere sia di tipo opaco sia di tipo lucido. La fotografia sottostante è una sezione trasversale al microscopio di una tipica carta lucida:

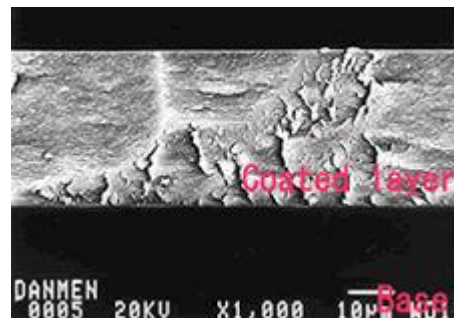
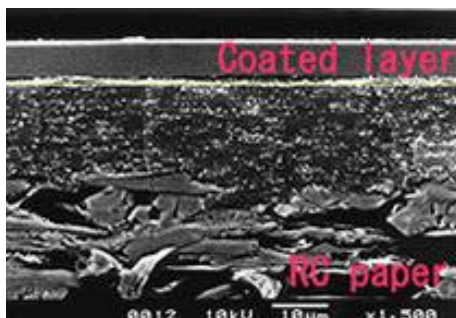


Carta fotografica

È la carta per stampa inkjet più costosa e lo strato recettore dell'inchiostro è depositato sulla superficie del supporto.

Le carte di questo tipo sono paragonabili alle carte fotografiche analogiche, poiché sono in grado di generare immagini di qualità e definizione fotografiche elevatissime, con una stabilità nel tempo molto soddisfacente. Presentano prestazioni differenziate in funzione delle diverse caratteristiche di fissaggio dell'inchiostro dei materiali che costituiscono gli strati recettori.

I materiali che costituiscono lo strato depositato sulle carte trattate possono essere di diversi tipi. Gli strati recettori delle carte fotografiche sono suddivisibili in due gruppi: **strati di polimeri** e **strati di particelle**. Entrambi i tipi presentano vantaggi e svantaggi legati al metodo produttivo, ai costi, alla qualità ed alle prestazioni e risulta difficile indicare quale è migliore. Tuttavia, il mercato sembra dividersi tra il "tipo a polimeri, economicamente preferibile" ed il "tipo a particelle, qualitativamente migliore". Le fotografie sottostanti sono sezioni trasversali al microscopio di un tipico strato di polimeri e di un tipico strato di particelle.



Tipo a polimeri

È costituito da macromolecole solubili in acqua, quali cellulosa, gelatina, polivinilalcol, ecc.

Strato recettore, tipo a polimeri	
Vantaggi	Svantaggi
Produzione non complessa	Basso assorbimento dell'inchiostro
Superficie lucida	Lunghi tempi di essiccazione
Buona stabilità nel tempo	Bassa resistenza all'acqua

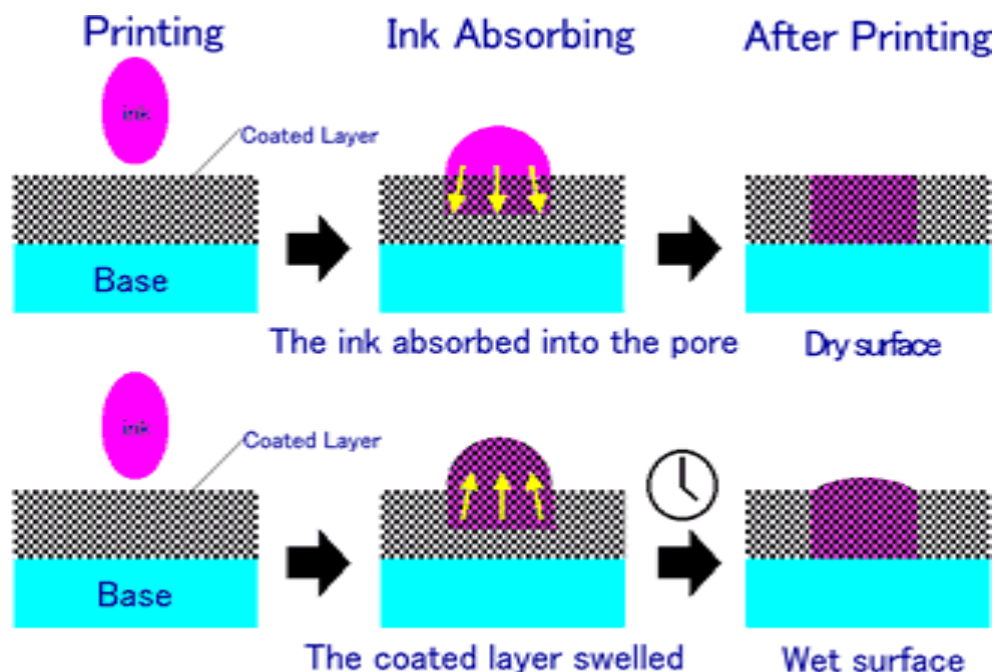
Tipo a particelle

È costituito da particelle colloidali prevalentemente inorganiche, quali silice ed allumina.

Strato recettore, tipo a particelle	
Vantaggi	Svantaggi
Immagini di elevata qualità	Produzione complessa
Nessuna necessità di essiccazione	Superficie delicata
Resistenza all'acqua	Decolorazione superficiale

Assorbimento dell'inchiostro

I meccanismi di assorbimento dell'inchiostro nello strato di polimeri ed in quello di particelle sono diversi. Il tipo a polimeri si comporta in modo simile alla carta assorbente, dove l'umidità rimane intrappolata nella massa assorbente che rigonfia. Per contro, il tipo a particelle ha un'azione essiccante analoga a quella del gel di silice, dove l'umidità penetra negli interstizi della massa assorbente. Le differenze tra i due meccanismi sono illustrate nel seguente schema:



- 1) A sinistra, una goccia di inchiostro sta per toccare la superficie dello strato di particelle e dello strato di polimeri.
- 2) Al centro, la goccia giunge sulla superficie dei due tipi di carte, che reagiscono in modo differente all'evento. Nel caso del tipo a particelle,

l'inchiostro si infiltra negli spazi tra le particelle. Nel caso del tipo a polimeri, invece, l'inchiostro è assorbito dai polimeri che rigonfiano.

- 3) A destra, è rappresentata la situazione finale. Mentre la superficie del tipo a particelle è asciutta poiché l'inchiostro è penetrato nello strato, quella del tipo a polimeri è umida a causa dell'inchiostro assorbito nella struttura dei polimeri rigonfiati. L'inchiostro penetrato nei polimeri non essicca mai completamente.

I produttori commercializzano le carte fotografiche senza indicare se lo strato recettore dell'inchiostro è costituito da polimeri o da particelle ed è difficile stabilire con esattezza il tipo in base al suo aspetto. Se la confezione riporta la dicitura "tecnologia a particelle" o "microtecnologia" o "carta subito asciutta" o "essiccazione rapida", potrebbe contenere carta con uno strato recettore del tipo a particelle. La superficie della carta con uno strato recettore del tipo a polimeri può risultare appiccicosa al tatto.

Stampanti a cambiamento di stato

Note anche come **stampanti ad inchiostro solido**, la loro tecnologia è stata messa a punto da Tektronix nel 1986. Nel 2000 Xerox ha acquistato la divisione Color Printing and Imaging di Tektronix e la tecnologia **solid ink (inchiostro solido)** è diventata parte integrante della sua linea di stampanti da ufficio.

Gli inchiostri sono costituiti da resine atossiche, simili ai pastelli e maneggiabili senza rischi per la salute. Inoltre, sono solidi a temperatura ambiente, rendendo così superflue le cartucce, e diventano liquidi per riscaldamento a 90 °C. I blocchetti di inchiostro solido presentano forme differenti, specifiche per ciascun colore, al fine di evitare errori di inserzione nelle vaschette di alimentazione della stampante.



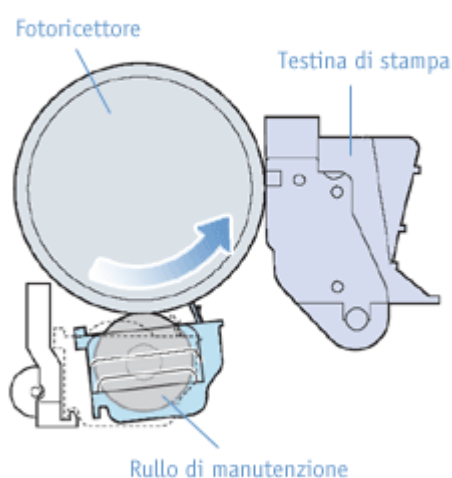
Il ciclo di stampa di una pagina è costituito dalle seguenti fasi:

Preparazione alla stampa

All'inizio del processo di stampa, il rullo di manutenzione di lunga durata applica rapidamente uno strato microscopico di olio siliconato sul fotoricettore riscaldato per un rilascio dell'inchiostro più affidabile.

Vantaggi:

- Un meccanismo di stampa semplice, robusto e affidabile.
- Il rullo di manutenzione dura fino a 30.000 stampe (kit di manutenzione esteso)
- Niente materiali di consumo complessi.

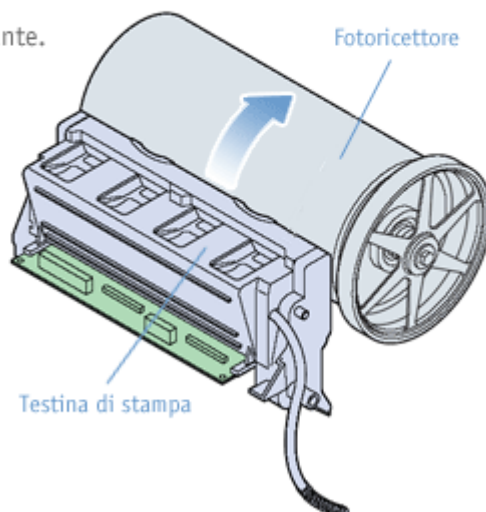


Stampa a passaggio singolo

La testina di stampa a piena larghezza applica contemporaneamente tutti i colori sul fotoricettore rotante.

Vantaggi:

- Trasferimento di immagini ad alta velocità.
- L'applicazione simultanea di tutti i colori elimina gli errori di registrazione dei livelli di immagini separati ciano, magenta, giallo e nero.

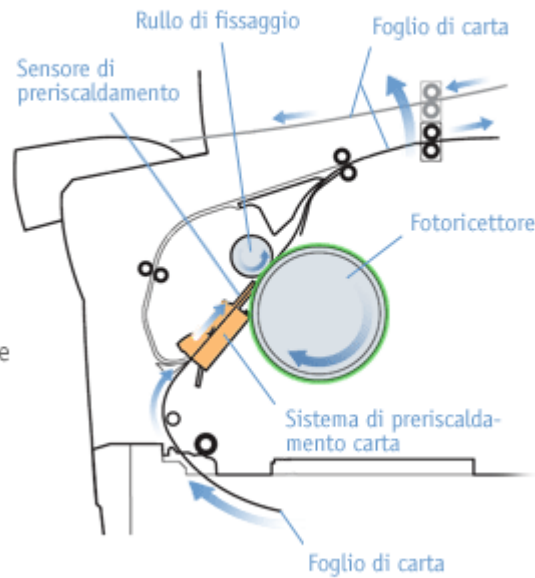


Trasferimento delle immagini

Per trasferire l'inchiostro sulla carta, viene rapidamente alimentato un foglio di carta fra il fotoricettore e un rullo di fissaggio.

Vantaggi:

- Trasferimento di immagini ad alta velocità.
- Percorso carta breve e semplice per una maggiore velocità e affidabilità.
- Il processo di trasferimento di stampa garantisce un'elevata qualità di stampa su un'ampia varietà di supporti.
- Non è necessario un fusore.

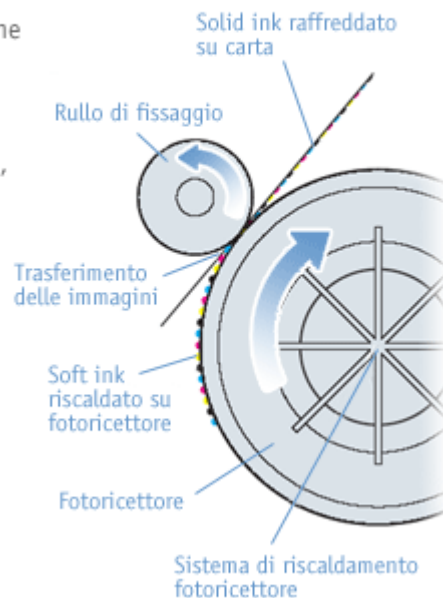


Adesione dell'inchiostro

Quando l'inchiostro sul fotoricettore viene trasferito sulla carta, penetra nelle fibre della carta, ma senza spargere getti di inchiostro liquido o toner. L'inchiostro si raffredda e solidifica immediatamente, aderendo perfettamente alla carta in modo permanente. Tempo totale per il processo di stampa: appena 5 secondi.

Vantaggi:

- Stampa rapida a colori senza macchie o tempi di asciugatura.
- Colore più omogeneo su una gamma di supporti ancora più ampia rispetto al getto d'inchiostro o al laser a colori.

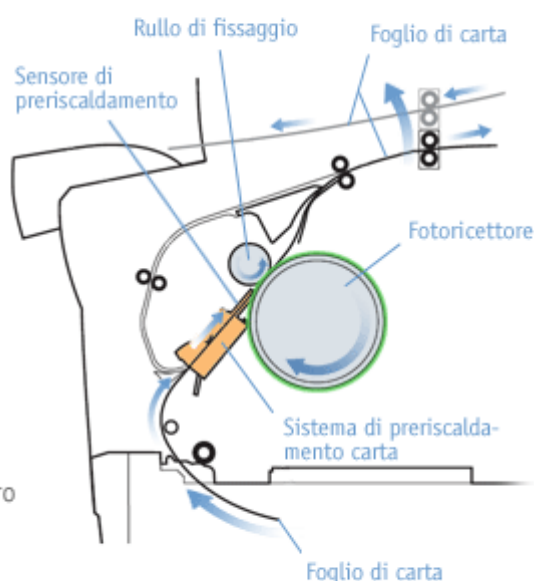


Stampa fronte/retro

Per la stampa con fronte/retro automatico, il foglio di carta non viene espulso completamente nel vassoio di uscita ma viene nuovamente alimentato nella Phaser™ 8560 attraverso il percorso carta fronte/retro. Il processo di stampa si ripete con la seconda immagine sul fotoricettore trasferita sull'altro lato del foglio di carta.

Vantaggi:

- Il percorso carta fronte/retro semplice, breve e incorporato consente una stampa fronte/retro più rapida e riduce gli inceppamenti della carta.
- Non sono necessari vassoi carta aggiuntivi.

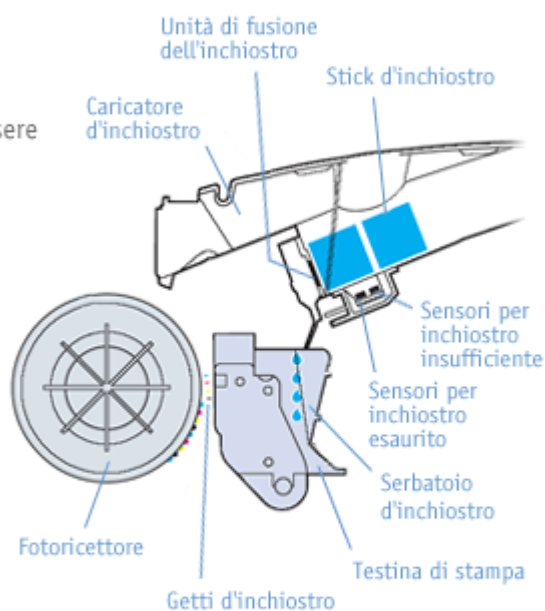


Ricaricamento

Il caricatore di inchiostro estrae l'inchiostro dagli stick solid ink invece che da una cartuccia toner indipendente. L'inchiostro può essere sostituito o aggiunto in qualsiasi momento senza mettere la Phaser™ 8560 fuori linea.

Vantaggi:

- Caricamento semplice e "al volo" degli stick di inchiostro per un funzionamento senza interruzioni.
- Il caricatore di inchiostro può essere riempito prima di lavori di stampa particolarmente lunghi che prevedono un consumo elevato di inchiostro, in modo da evitare interruzioni.
- Maggiore rispetto dell'ambiente: meno sprechi nel packaging e nei componenti relativi all'inchiostro.



Grazie alla modalità di deposizione dell'inchiostro solido sulla pagina, la qualità di stampa è elevata, con colori saturi e brillanti. Poiché gli inchiostri si limitano a "coprire" la pagina, la qualità di stampa risulta praticamente indipendente dalla qualità della carta.

L'inchiostro solido è sotto forma di blocchetti che non necessitano di cartucce e si consuma con l'uso senza lasciare praticamente residui da smaltire, confezione di vendita a parte, risultando quindi più ecologico rispetto agli inchiostri inkjet ed ai toner. Il processo di stampa non genera ozono, come invece accade con le stampanti laser, ma emana un odore caratteristico, simile a quello delle candele accese.

I consumi elettrici sono più elevati di quelli delle stampanti inkjet e paragonabili a quelli delle stampanti laser, in quanto è necessario fondere l'inchiostro e mantenere in temperatura il gruppo di stampa.

La testina di stampa è parte integrante della stampante e richiede perciò periodiche operazioni di spurgo e pulizia con inevitabile spreco di inchiostro.



Stampanti elettrofotografiche

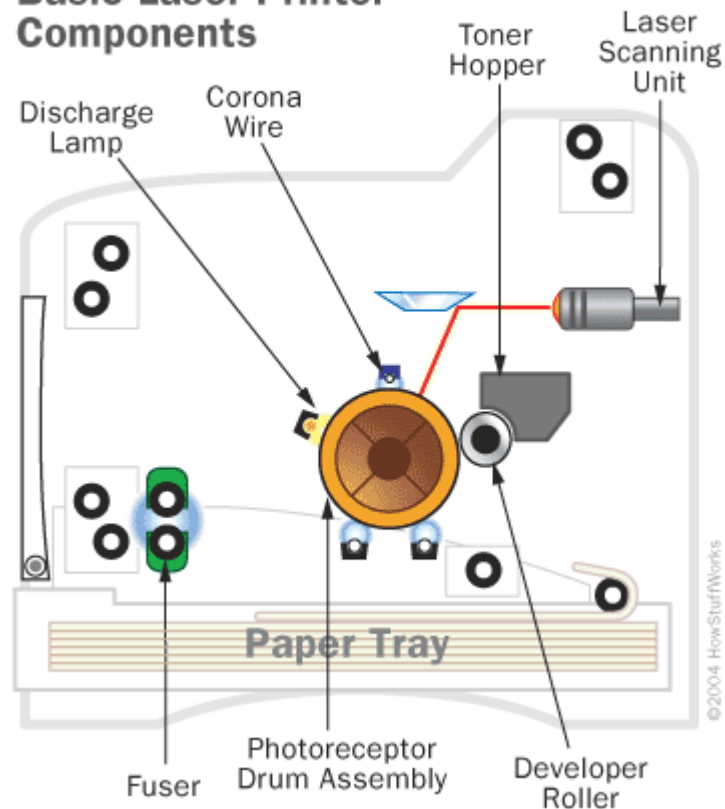
Utilizzano un processo di stampa analogo a quello adottato nelle fotocopiatrici.

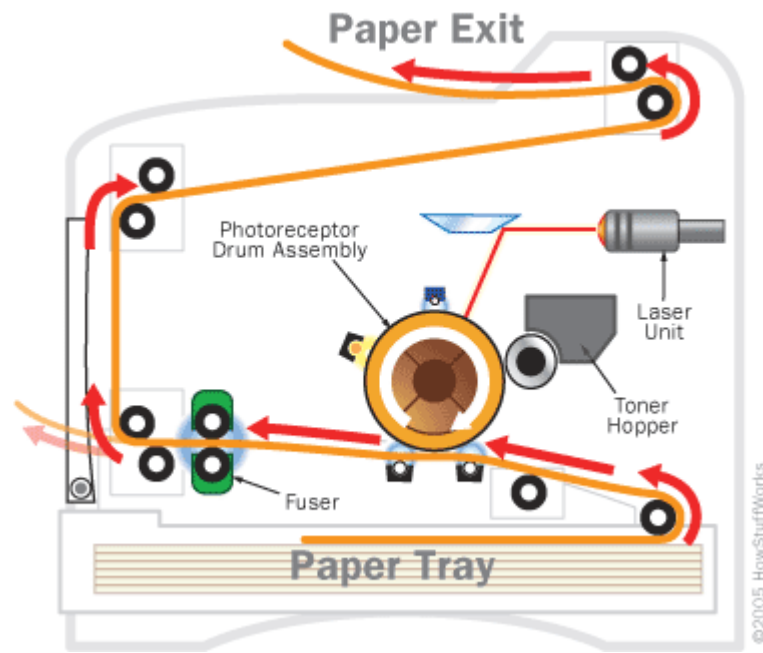
Si dividono in due tipologie, contraddistinte essenzialmente dal gruppo di esposizione del tamburo fotoconduttore: **stampanti laser e stampanti a LED**.

Stampanti laser

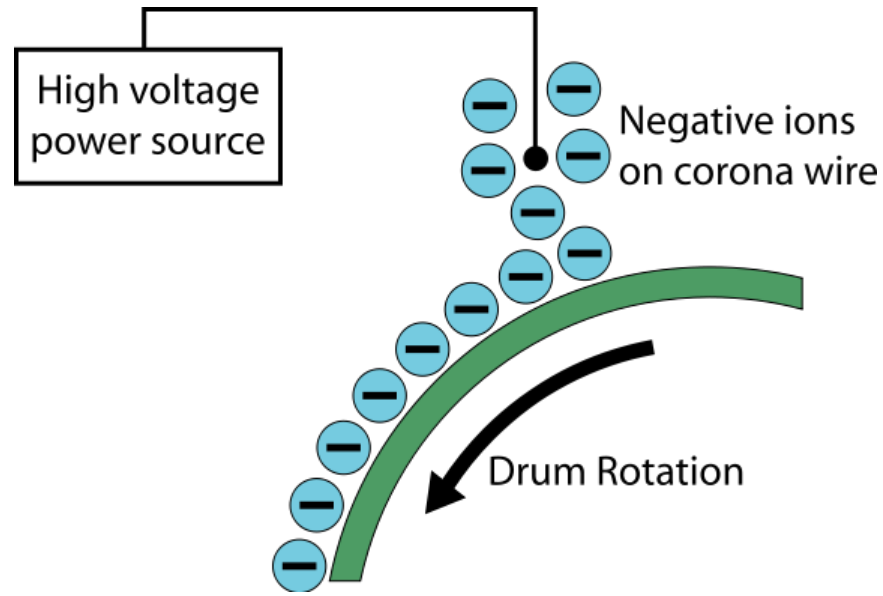
La struttura di base di queste unità, in versione monocromatica, è illustrata nei due seguenti schemi:

Basic Laser Printer Components





Nel tipico processo laser, una carica statica viene applicata ad una cinghia o ad un tamburo fotosensibile, dove la superficie foto recettrice, costituita da un **fotocoduttore organico (Organic PhotoConductor, OPC)**, diventa conduttiva quando è colpita dalla luce.

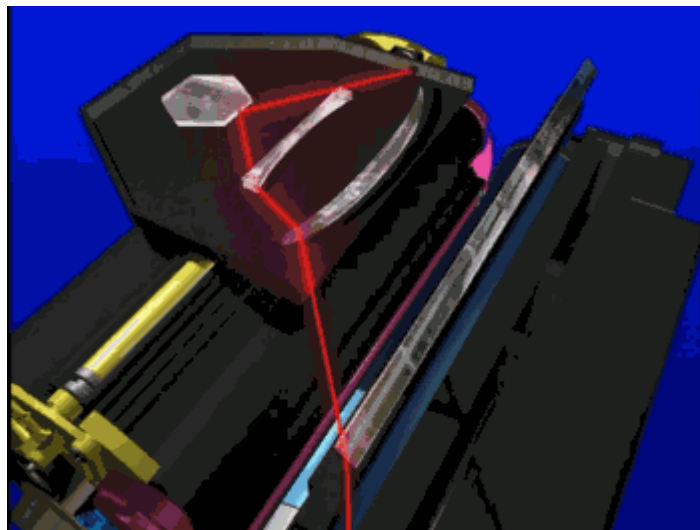
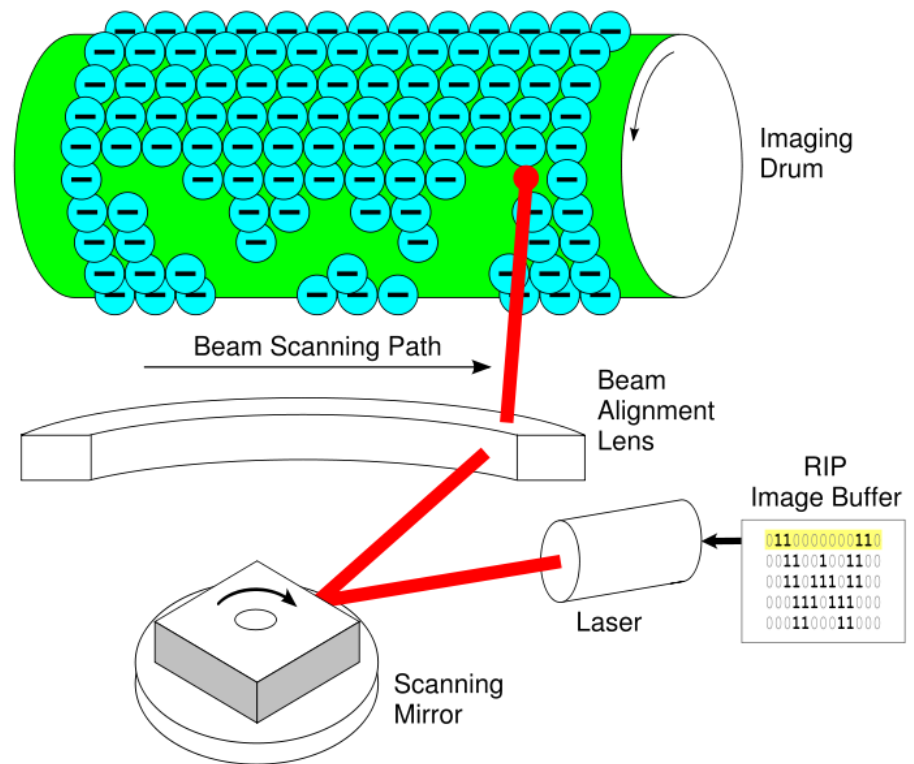




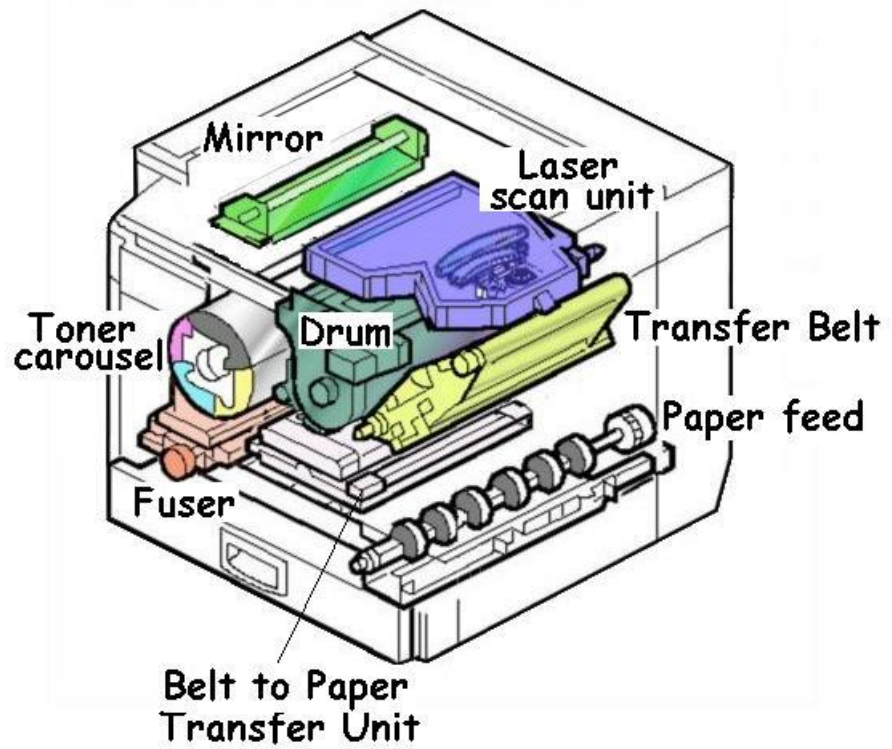
Per semplificare la gestione, nelle moderne stampanti laser il toner e il tamburo fotosensibile sono inclusi in un'unica cartuccia.



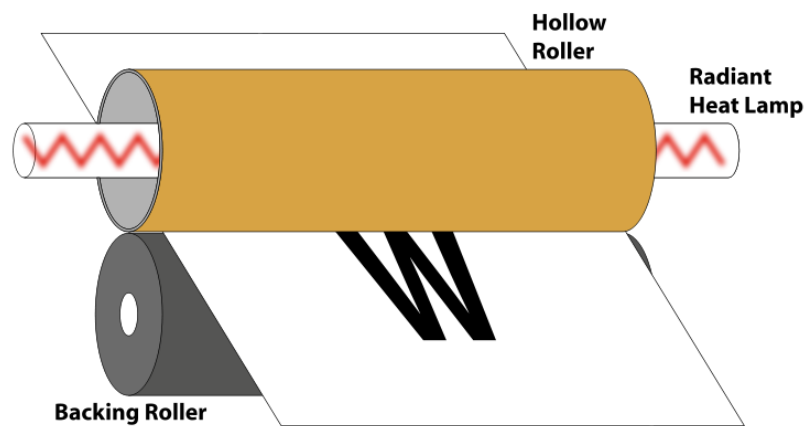
Un raggio laser impressiona quindi le zone che non devono essere stampate, lasciando cariche le zone da stampare.



Viene quindi applicato il toner, che aderisce alle zone cariche, e l'immagine sul tamburo è così trasferita elettrostaticamente alla carta. Nelle stampanti laser a colori questa operazione è ripetuta quattro volte (una per ciascun colore fondamentale C, M, Y ed una per il nero, K).



Infine, l'immagine è fissata mediante rulli che riscaldano il toner fino a fonderlo e lo premono sulla carta.





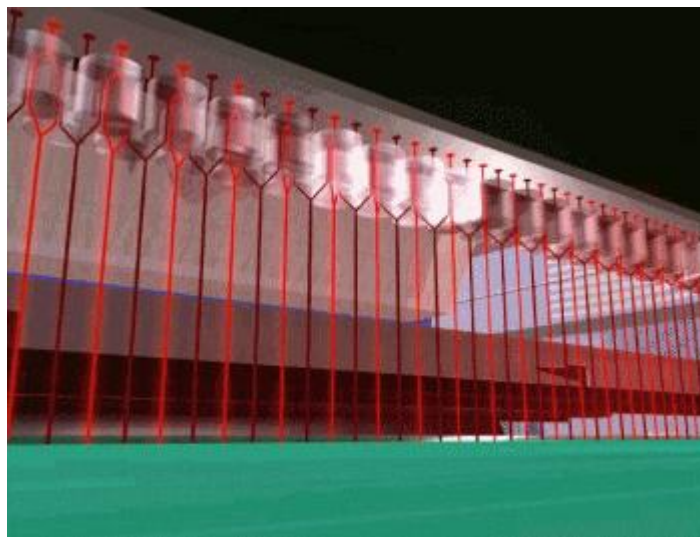
Stampanti a LED

Una variante delle stampanti laser è rappresentata dalle stampanti a **LED (light emitting diode, diodo fotoemettitore)**. Queste unità sono analoghe a quelle laser ad eccezione della sorgente di luce, non più costituita da un laser ma da una schiera di LED, e dai moduli separati del toner e del tamburo fotosensibile.



Nelle unità a colori è così possibile differenziare e semplificare i passaggi multipli necessari a fissare i quattro colori nel processo con il laser. Infatti, le stampanti a LED fissano i quattro toner in un singolo passaggio.

I LED sono affiancati a formare una schiera che copre la generatrice del tamburo fotorecettore per tutta la sua larghezza. Una volta caricato elettrostaticamente il tamburo, i LED emettono luce perpendicolarmente alla sua superficie annullandone la carica in modo inversamente proporzionale alle densità dell'immagine da riprodurre.



Successivamente, si applica il toner, che aderisce alle zone cariche, si trasferisce elettrostaticamente l'immagine, ora costituita dal toner, dal tamburo alla carta e la si fissa sul supporto mediante i rulli fusori.



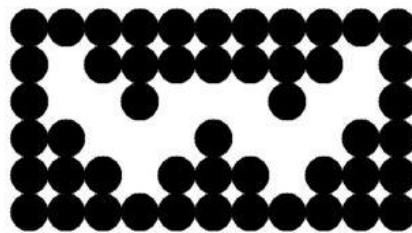
Il vantaggio di queste unità è che la fila di LED è meno costosa da produrre e, non avendo parti in movimento, potenzialmente più affidabile rispetto al gruppo costituito dal laser e dallo specchio prismatico rotante. Inoltre, la compattezza della schiera di LED consente di montare quattro gruppi stampanti LED-tamburo-toner (uno per ciascun inchiostro) disposti in linea, con una velocità di stampa analoga a quella di una stampante monocromatica. I dati sono inviati contemporaneamente ai quattro gruppi.

Per contro, le stampanti a LED presentano un limite tecnico nei confronti di quelle laser di alta qualità, rappresentato dal numero di LED fisicamente affiancabili lungo la larghezza del tamburo fotoconduttore. Infatti, una stampante con risoluzione di 300 dpi disporrà di 300 LED per ciascun pollice della schiera, mentre una da 600 dpi ne avrà 600 al pollice.

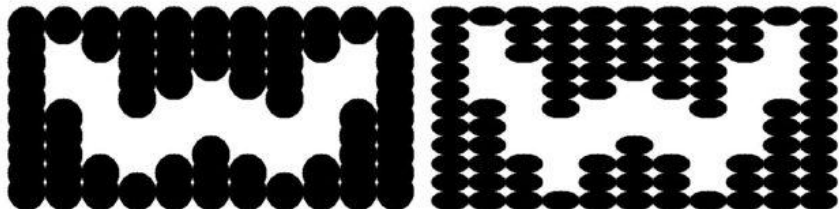
Molte stampanti laser, soprattutto a colori, dispongono di una risoluzione di 1200 dpi: il conseguimento di un

simile risultato anche con i LED impone di superare non pochi problemi riconducibili alla produzione in scala miniaturizzata di questi componenti.

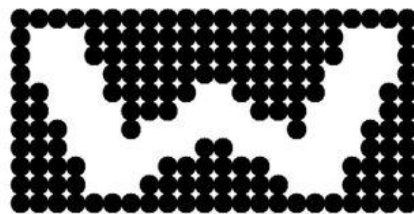
Per ridurre almeno in parte il divario qualitativo con le stampanti laser, alcuni modelli di unità a LED presentano risoluzioni differenziate sui due assi come, ad esempio, 600x1200 dpi. La risoluzione orizzontale è limitata a 600 dpi dalle dimensioni fisiche dei LED e quella verticale dipende esclusivamente dalla loro frequenza di lampeggiamento mentre scorre la carta. La qualità dell'immagine risultante varia in funzione della forma dello spot tracciato da ciascun LED: una sezione tonda significa che i pixel si sovrappongono in direzione verticale, una sezione ovale impedisce la sovrapposizione dei pixel e permette di ottenere un'immagine di qualità leggermente migliore.



True 600x600 dpi, with round pixels



Skewed 600x1200 dpi, with round pixels Skewed 600x1200 dpi, with oval pixels



True 1200x1200 dpi, with round pixels

Stampa digitale

La stampa digitale utilizza **macchine basate su sistemi di stampa laser o inkjet**. I vari modelli sono fondamentalmente stampanti laser e stampanti inkjet ad alta velocità ed offrono un'ampia gamma di funzioni ed opzioni di stampa. Oltre a permettere di riprodurre i documenti direttamente in macchina, automatizzano anche la gestione del documento e la messa in macchina, eliminando la preparazione e la calibrazione della pellicola, delle lastre e degli inchiostri, operazioni lunghe e costose. La maggior parte delle macchine per la stampa digitale presenti sul mercato sono del tipo elettrofotografico (stampanti laser).

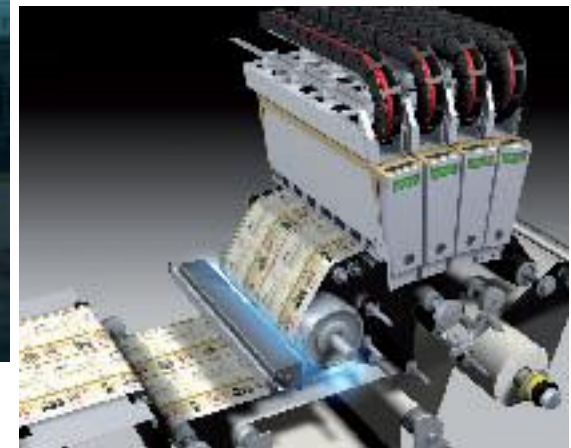
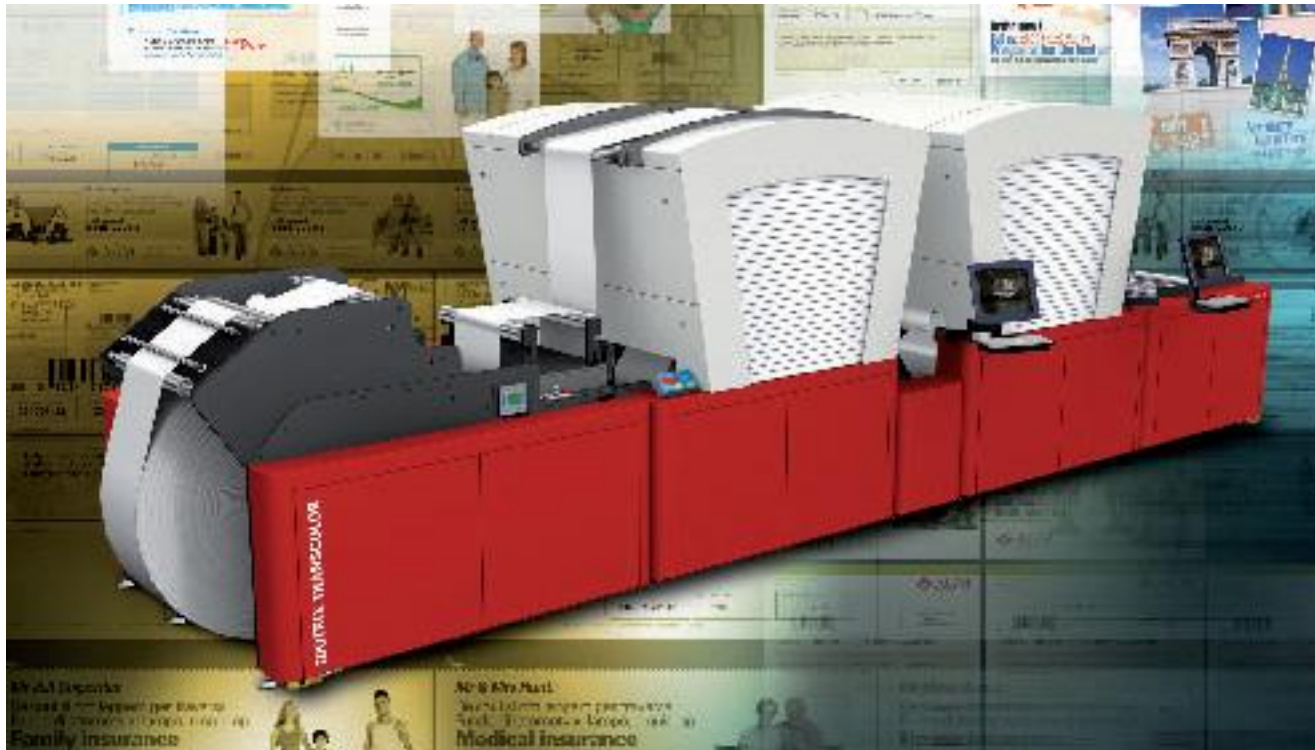
Poiché le macchine per la stampa digitale rigenerano ad ogni copia la pagina, è possibile apportare cambiamenti all'ultimo minuto con un costo supplementare minimo o nullo. Inoltre, è possibile modificare singole pagine durante il processo di stampa sostituendo immagini e/o testo, procedura nota come **personalizzazione**. Infine, la trasmissione digitale dei file in altre località ne rende possibile la stampa in qualunque parte del mondo.

Eliminando gran parte della preparazione necessaria per la macchina da stampa tradizionale, le apparecchiature digitali riducono notevolmente il costo globale delle basse tirature (ad esempio, da 5 a 5000 copie) in quadricromia. Sotto questo aspetto, la stampa tradizionale a bassa tiratura di un documento risulterebbe proibitivo e quindi assolutamente improponibile.

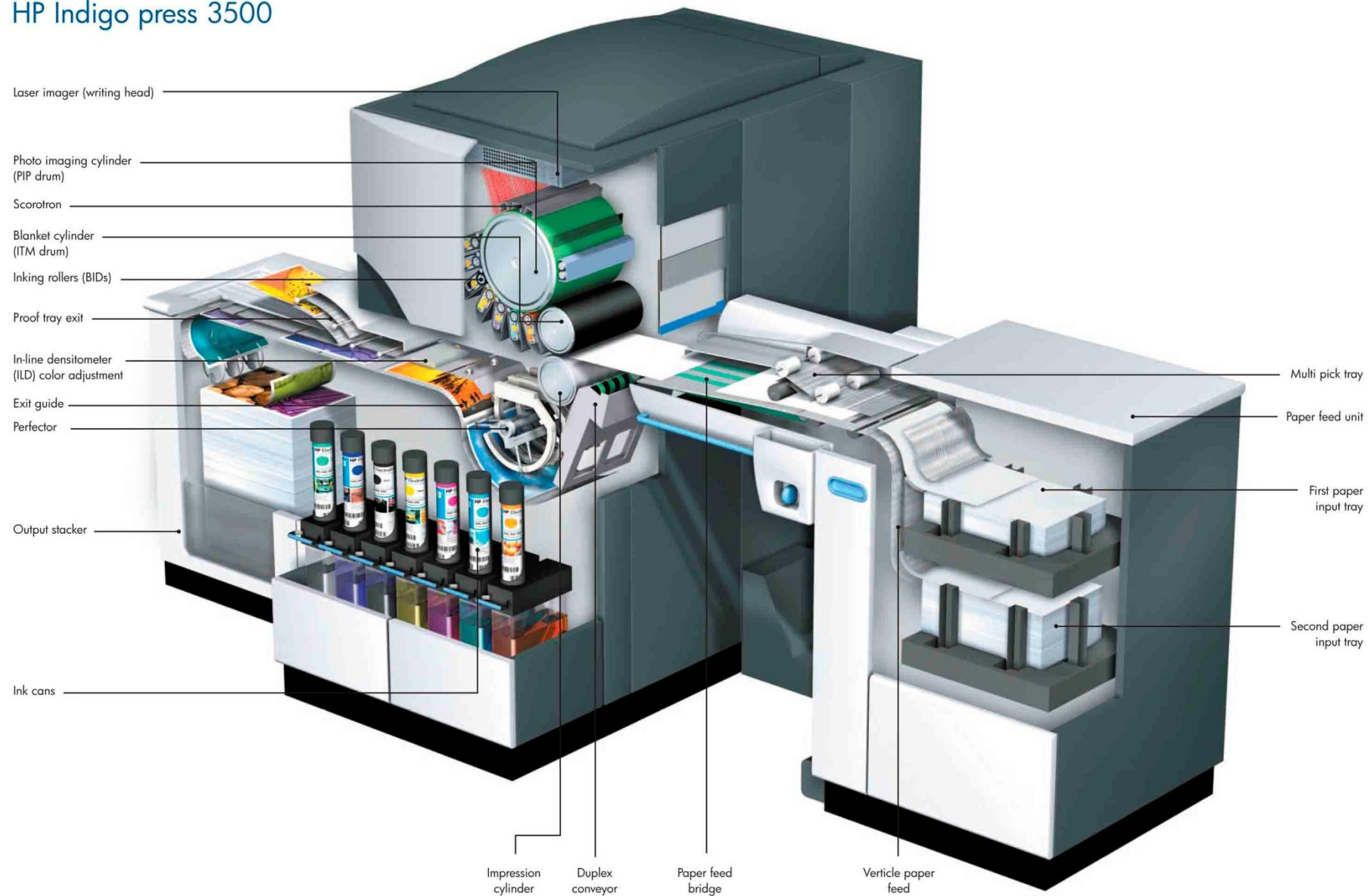
Tuttavia, la maggior parte delle macchine per la stampa digitale non è ancora in grado di riprodurre i colori pieni dei documenti stampati su una macchina da stampa offset a 7 colori. Di conseguenza, i progetti dei documenti che prevedono l'uso dei quattro colori non devono essere eccessivamente complicati e richiedere una corrispondenza esatta dei colori.

Le macchine per la stampa digitale sono state pensate per quei lavori che non è possibile ottenere con le macchine tradizionali e rappresentano la scelta ideale per lavori in quadricromia a basse tirature, che richiedono velocità di riproduzione e flessibilità. Inoltre, se si desidera personalizzare una o più pagine, la stampa digitale è l'unica soluzione possibile.

Agfa :Dotrix Transcolor



HP Indigo press 3500



Xerox DocuColor® 5000



Xeikon 8000



La nuova tecnologia della stampa digitale ha portato alla creazione di carte speciali e toner a microparticelle dotati di carica elettrostatica, al fine di ottenere un'uscita di qualità con una riproduzione veloce. Dato che i toner non necessitano di asciugatura e raffreddamento, i documenti sono disponibili per la finitura e l'uso subito dopo la stampa.

Carta

Le apparecchiature digitali possono eseguire la stampa su diversi tipi di carta ed altri supporti, ad esempio materiali adesivi o pellicole plastificate. Molte di queste macchine richiedono una carta appositamente condizionata per garantire un'adesione corretta del toner alla superficie ricevente.

La scelta della carta e degli altri supporti è determinata anche dal tipo di alimentazione del sistema di stampa. Le macchine a bobina ricevono la carta da un rotolo, stampano entrambi i lati contemporaneamente con un flusso di carta continuo e tagliano le pagine o le segnature indicate. Le macchine con alimentazione a fogli stampano un lato alla volta prelevando la carta da una pila di fogli singoli.

Inchiostro e toner

La tecnologia di stampa digitale ad alta velocità che si basa sull'elettrofotografia trasferisce le immagini sulla carta utilizzando **toner a secco**. Dopo che un laser o una schiera di LED creano l'area di riproduzione sul tamburo fotoconduttore caricato elettrostaticamente, le particelle di toner con carica opposta aderiscono a tale superficie e vengono poi trasferite sulla carta, a cui aderiscono mediante termofusione.

A differenza dell'inchiostro tradizionale, il toner non viene assorbito dalla carta, ma si fissa sulla superficie. Questo impedisce lo schiacciamento del punto, causato dall'inchiostro che si espande sulla fibra della carta. L'impalpabilità dei toner più recenti consente una maggiore precisione del colore e delle mezzetinte, poiché le particelle aderiscono a minuscoli punti elettronici controllati dal computer.

Analogamente, i modelli della famiglia Indigo utilizzano inchiostri con carica elettrostatica formati da particelle sospese in olio (**toner liquido**). Anche se è liquido, il toner asciuga quasi subito e non provoca alcuno schiacciamento del punto.

Mezzetinte

Il più delle volte, le immagini a tono continuo, come le fotografie, sono stampate mediante retinatura eseguita dal computer. Un'immagine a tono continuo è analizzata e digitalizzata in una griglia di pixel colorati; maggiore

è il numero di pixel per pollice (ppi) e più alta sarà la risoluzione dell'immagine. In stampa, i pixel sono convertiti da un RIP (Raster Image Processor) in linee di punti di varie dimensioni e densità per ciascun colore CMYK.

Un vantaggio delle macchine per la stampa digitale è rappresentato dal fatto che le mezzetinte vengono riprodotte direttamente sulla carta senza passaggi intermedi. Nella preparazione tradizionale dell'immagine, i punti creati dalla fotounità possono perdere la loro precisione durante il trasferimento su pellicola e/o lastra e quando l'inchiostro è assorbito su carta. Viceversa, nella stampa digitale, i punti sono riprodotti direttamente sul tamburo e il toner viene fissato sulla carta, teoricamente senza alcuno schiacciamento del punto.

A differenza della stampa offset tradizionale, alcune macchine per la stampa digitale sono in grado di variare la quantità di toner applicata su ciascun punto, una tecnica nota come **densità variabile del punto**. Si creano così toni scuri dettagliati e sfumature di colore che possono incrementare notevolmente la nitidezza dell'immagine.

Di norma, la stampa digitale delle mezzetinte viene eseguita con risoluzioni di 600-2400 dpi e lineature di 133-175 lpi o equivalenti, in funzione del tipo di macchina e della tecnica di retinatura. La densità variabile dei punti può incrementare ulteriormente la risoluzione reale.

Stampa personalizzata

Nota anche come **Variable-data printing (VDP)** o **Variable-Information Printing (VIP)**, consiste nella modifica di testo, grafici ed immagini da una copia all'altra, senza arrestare o rallentare il processo di stampa, attingendo i dati necessari da un database o da un file esterno. Ad esempio, è possibile stampare un gruppo di lettere cambiando il nome e l'indirizzo dei destinatari senza variarne il contenuto.

La stampa personalizzata è resa possibile dalla tecnologia alla base della stampa digitale, che utilizza i database su computer e le stampanti per generare documenti a colori di elevata qualità, paragonabili a quelli ottenibili con la stampa offset convenzionale.

Di conseguenza, la stampa personalizzata di documenti resa possibile dalla tecnologia digitale si contrappone alla tiratura senza variazione di contenuti della stampa tradizionale. Invece di produrre 10.000 copie di un singolo documento, inviando lo stesso messaggio a 10.000 clienti, la stampa personalizzata permette di ottenere 10.000 documenti modificati, con messaggi specifici per ciascun cliente.

È possibile utilizzare due diversi metodi di stampa personalizzata. Nel primo, il modello di documento ed i dati variabili sono inviati al RIP, che li

combina per generare ciascun singolo documento. Nel secondo, si combinano gli elementi fissi e quelli variabili prima della stampa mediante specifici software VDP. Queste applicazioni generano flussi di stampa ottimizzati, tipo PostScript e PPML, in modo che gli elementi fissi siano elaborati dal RIP una sola volta.

La stampa personalizzata è suddivisa in vari livelli. Quello più semplice prevede la modifica della formula introduttiva o del nome in ciascuna copia. Quello intermedio adotta differenti gradi di personalizzazione per i vari target, con testo ed immagini che cambiano per gruppi di destinatari, in funzione del segmento di mercato a cui si rivolgono. Infine, quello più complesso è rappresentato dalla stampa totalmente personalizzata, dove il testo e le immagini possono variare per ciascun destinatario. Tutti i tre tipi di stampa personalizzata partono da un progetto di base che riporta le sezioni da modificare ed il database da utilizzare per compilare i campi variabili.