



TRATTAMENTO FOTOGRAFICO B/N

Sommario

Azione del bagno di sviluppo	2
Chimica dello sviluppo	2
Tipologie di sviluppo dell'immagine	5
Componenti del bagno di sviluppo	8
Tipologie di bagni di sviluppo	20
Arresto dello sviluppo	31
Fissaggio dell'immagine	33
Indurimento della gelatina.....	36
Lavaggio finale	37
Asciugamento	38

Azione del bagno di sviluppo

Lo sviluppo fotografico ha il compito di continuare il processo di trasformazione dell'alogenuro di argento iniziato dall'esposizione. La sua azione consiste nel ridurre ad argento metallico tutti gli ioni argento dei cristalli in cui si è formata l'immagine latente, in modo da ottenere il completo annerimento di quelli precedentemente esposti, lasciando intatti quelli non esposti.

Un cristallo di AgX contiene $10^8 - 10^9$ ioni argento: nell'esposizione ne vengono trasformati in argento metallico solo poche decine; la riduzione dei rimanenti ioni argento è realizzata dallo sviluppo.

Per ottenere lo sviluppo dell'immagine fotografica, è necessario portare a contatto dei cristalli una sostanza capace di cedere elettroni. I rivelatori sono quindi dei riducenti che, continuando l'azione iniziata dalla luce durante l'esposizione, sviluppano, cioè ingrandiscono, l'immagine latente nel corso dell'immersione dell'emulsione fotografica nel relativo bagno.

Un normale sviluppo fotografico contiene, oltre al rivelatore, un regolatore del pH (tampone chimico), un antiveolo, un antiossidante che lo preserva dall'ossidazione atmosferica ed altre sostanze ausiliarie.

Chimica dello sviluppo

Per svolgere la sua azione, il rivelatore deve giungere a contatto con i cristalli di alogenuro, dispersi in una matrice di gelatina, che è praticamente insolubile in acqua fredda e soggetta solo a un leggero rigonfiamento. In acqua calda si ha invece una dissoluzione completa e, considerato il piccolo spessore degli strati di emulsione sensibile (5-30 μm), una temperatura di 28-30 °C è già pericolosa per l'integrità dello strato e in soluzione acida o alcalina le cose peggiorano notevolmente. Se le soluzioni molto acide non sono di comune impiego in fotografia (l'acidità dei bagni di arresto non è in grado di arrecare alcun danno), i bagni di sviluppo sono invece alcalini, talvolta anche con $\text{pH} > 10$.

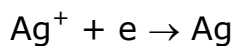
Alle normali temperature di impiego, a contatto con la soluzione alcalina di sviluppo, la gelatina si rigonfia fortemente e le molecole delle varie sostanze presenti nel bagno di sviluppo acquistano piena libertà di movimento. Il rivelatore può quindi giungere a contatto con i cristalli da sviluppare.

Se il rigonfiamento della gelatina è essenziale per lo sviluppo dell'immagine latente, aumenta però considerevolmente il rischio di lesioni all'emulsione (graffi, lacerazioni, ecc.), essendo la sua resistenza meccanica scarsissima. La situazione è particolarmente grave impiegando gli sviluppi fotomeccanici, che fanno ricorso ad alcali caustici per aumentare il contrasto, e si aggrava ulteriormente alle temperature elevate tipiche dei trattamenti a colori in sviluppatrice ($T = 38,7 \text{ }^\circ\text{C}$). Per ovviare a questi problemi le gelatine attuali sono una miscela in parti uguali di gelatina animale e gelatina sintetica.

Lo sviluppo dell'immagine fotografica comporta la riduzione dell'argento mediante una reazione di ossidoriduzione, nel corso della quale i rivelatori cedono elettroni agli ioni Ag^+ riducendoli e ossidandosi a loro volta:



Questa reazione redox è la somma della semireazione di riduzione:



con potenziale:

$$E_{\text{Ag}} = E_{0\text{Ag}} + 0,059 \cdot \text{Log}[\text{Ag}^+]$$

e della semireazione di ossidazione:



con potenziale:

$$\begin{aligned} E_{\text{rivelatore}} &= E_{0\text{rivelatore}} + (0,059/n) \cdot \text{Log}([\text{Ox}]/[\text{Rid}]) + 0,059 \cdot \text{Log}[\text{H}^+] = \\ &= E_{0\text{rivelatore}} + (0,059/n) \cdot \text{Log}([\text{Ox}]/[\text{Rid}]) - 0,059 \cdot \text{pH} \end{aligned}$$

La reazione di sviluppo può avvenire solo se la differenza di potenziale tra argento e rivelatore:

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_{Ag} - E_{rivelatore} = \\ &= \{E_{0Ag} + 0,059 \cdot \text{Log}[Ag^+]\} - \{E_{0rivelatore} + (0,059/n) \cdot \text{Log}([Ox]/[Rid]) + \\ &\quad - 0,059 \cdot \text{pH}\} = \\ &= E_{0Ag} + 0,059 \cdot \text{Log}[Ag^+] - E_{0rivelatore} - (0,059/n) \cdot \text{Log}([Ox]/[Rid]) + \\ &\quad + 0,059 \cdot \text{pH} \end{aligned}$$

raggiunge il seguente valore minimo:

$$\Delta E = E_{Ag} - E_{rivelatore} \geq 0,12 \text{ V}$$

Con il progredire dello sviluppo la concentrazione della forma ridotta del rivelatore ([Rid]) diminuisce, mentre aumenta quella della sua forma ossidata ([Ox]). In breve tempo il termine $(0,059/n) \cdot \text{Log}([Ox]/[Rid])$ cresce in misura tale da portare il ΔE sotto il valore minimo con conseguente arresto della reazione prima del completamento dello sviluppo.

Per mantenere quanto più basso possibile il rapporto $[Ox]/[Rid]$, il bagno di sviluppo contiene solfito di sodio (Na_2SO_3) che trasforma immediatamente il rivelatore ossidato, di colore giallo-bruno intenso, in un derivato solfonato giallo-bruno chiaro, responsabile del progressivo ingiallimento della soluzione.

La presenza del termine relativo al pH è dovuta a due fattori:

- per svolgere la sua azione, il riducente deve ionizzarsi liberando ioni H^+ nel bagno di sviluppo;
- affinché l'equilibrio si sposti verso destra e lo sviluppo possa quindi avere luogo, occorre neutralizzare gli ioni X^- che si liberano nel corso della reazione a causa della disgregazione del reticolo cristallino dell'AgX.

In entrambi i casi è necessario che l'ambiente in cui avviene la reazione di ossidoriduzione sia basico e si mantenga tale per tutta la durata dello sviluppo. A questo fine si utilizzano bagni di sviluppo a pH stabilizzato mediante l'impiego di tamponi chimici.

L'alogeno proveniente dall'AgX passa quindi in soluzione nel bagno di sviluppo come alogenuro alcalino, esercitando però un'azione ritardante sul processo di riduzione. È questa una delle ragioni dell'invecchiamento dei

bagni di sviluppo e della necessità di aumentare la durata del trattamento, in funzione della formulazione, man mano che si esauriscono.

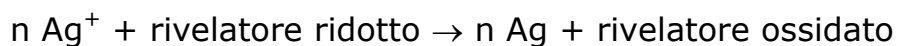
L'invecchiamento dello sviluppo è dovuto in parte al consumo del rivelatore, che viene progressivamente ossidato; si tratta però di un effetto meno importante di quello dovuto all'accumulo di alogenuro alcalino. Nei bagni contenenti più di un rivelatore (per esempio fenidone e idrochinone) uno agisce come riducente dell'argento, mentre l'altro serve a rigenerarlo, in modo da mantenerne costante la concentrazione. In questo caso, finché non si giunge all'esaurimento del riducente rigeneratore, l'invecchiamento è dovuto solo all'accumulo di alogenuro alcalino.

Tipologie di sviluppo dell'immagine

Sviluppo chimico

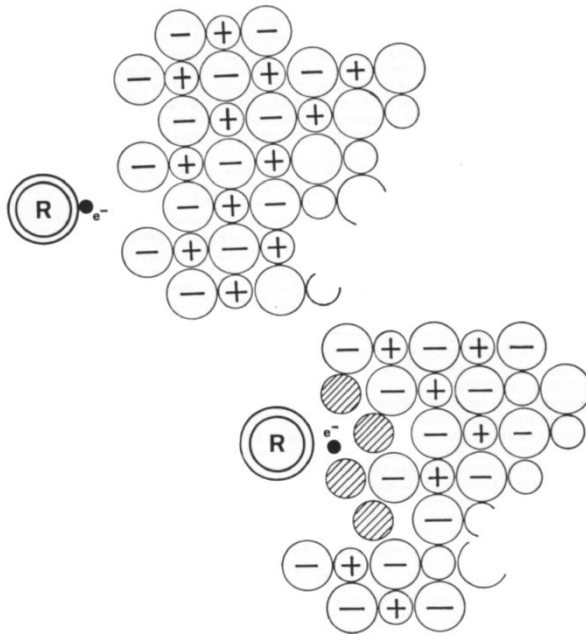
Non tutti i riducenti possono essere usati come rivelatori; sono, infatti, idonei solo quelli in grado di distinguere i cristalli esposti da quelli non esposti. I riducenti energici non operano questa distinzione fondamentale e li riducono tutti. Quanto maggiore è questo potere discriminante, tanto migliori sono le premesse per uno sviluppo esente da velo.

I cristalli di alogenuro non esposti possono essere effettivamente ridotti, ma richiedono tempi assai lunghi, giacché sono privi di centri catalitici di reazione (immagine latente). Il cristallo di AgX non impressionato presenta all'esterno una barriera continua di ioni X^- , derivante dall'eccesso di KX utilizzato nelle varie operazioni di preparazione dell'emulsione fotosensibile, che impedisce al rivelatore di trasferire elettroni al cristallo. Il cristallo impressionato presenta invece uno o più centri di sviluppo e la sua barriera negativa risulta quindi interrotta dai raggruppamenti di atomi di argento, consentendo il trasferimento di elettroni e la reazione di sviluppo chimico:



Poiché la riduzione ha inizio dai germi dell'immagine latente, il metallo si sviluppa sotto forma di filamento che cresce alla sua base, in forma filamentosa, in seguito al progressivo attacco di tutto il cristallo di AgX. In ciascun cristallo vi sono in genere più germi dell'immagine latente; quindi si formano più filamenti che, crescendo, si aggrovigliano in una micromatassa. Inoltre, nella gelatina rammollita, i vari grumi di argento in formazione possono unirsi dando luogo ad aggregati più grossi e irregolari. Durante l'ingrandimento del negativo la luce filtra tra un granulo e l'altro di

argento e va ad impressionare la carta fornendo un'immagine di aspetto granuloso. La grana osservabile sulla copia stampata è quindi quella dei vuoti fra i granuli di argento del negativo. Ne consegue che per diminuire l'aspetto granuloso non è indispensabile diminuire le dimensioni dei granuli di argento, bensì favorirne la regolare distribuzione, in modo da diminuire le dimensioni degli interspazi.



Un cristallo di AgX non impressionato presenta all'esterno una barriera di ioni X⁻ che impedisce di trasferire elettroni e⁻ dal rivelatore R agli ioni Ag⁺ del reticolo cristallino.

Dove invece si è formato un germe dell'immagine latente, la barriera negativa è interrotta da un ammasso di atomi Ag (tratteggiati) e da lì può avere inizio lo sviluppo.

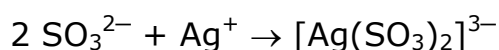
Sviluppo fisico

Contemporaneamente allo sviluppo chimico ed in presenza di solfito di sodio (Na₂SO₃) nel bagno del rivelatore, si verifica, in misura ridotta, un fenomeno secondario di riduzione dell'argento che prende il nome di sviluppo fisico.

Il solfito di sodio ha la proprietà di sciogliere i cristalli di AgX, poiché forma un sale complesso di argento e solfito (argentosolfito di sodio), solubile nella soluzione del rivelatore:

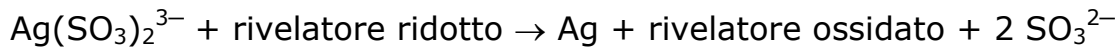
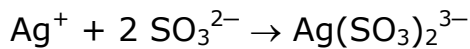


o in forma ionica:



Una volta estratto dal cristallo, l'Ag⁺ dello ione complesso viene immediatamente ridotto dal rivelatore. L'argento metallico così ottenuto deriva da tutti i cristalli di AgX, anche da quelli non colpiti dalla luce

(mentre quello ridotto dallo sviluppo chimico si origina solo dai cristalli esposti), ma va a depositarsi sui cristalli impressionati, favorendo la crescita dell'immagine fotografica per sviluppo fisico:



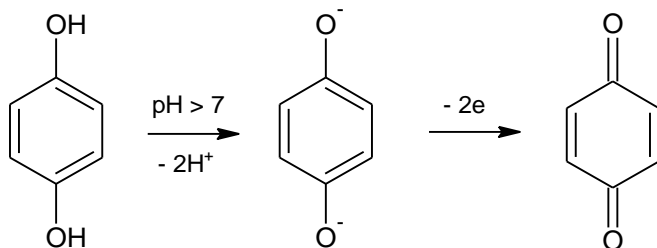
L'argento precipitato per sviluppo fisico si deposita sui filamenti in accrescimento; pertanto i granuli crescono per apporto di argento metallico sia da parte dello sviluppo chimico sia da parte dello sviluppo fisico. Si ha una deposizione di argento anche lontano dai filamenti in accrescimento, generando un velo fisico con conseguente perdita di nitidezza.

La struttura dell'aggregato di argento metallico che si forma dipende dal tipo di sviluppo: mentre lo sviluppo chimico forma per ogni cristallo sviluppato un caratteristico groviglio di filamenti, lo sviluppo fisico fornisce particelle di argento molto piccole e compatte.

Esempio di reazione di sviluppo

Qui di seguito si riporta la reazione redox tra idrochinone ed argento.

1) Ossidazione dell'idrochinone a chinone:



2) Riduzione dell'argento ad argento metallico:



Componenti del bagno di sviluppo

Rivelatore

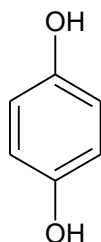
Il rivelatore è il responsabile della riduzione dell'alogenuro esposto, con un'energia che dipende dalle sue caratteristiche chimiche. Qui di seguito si esaminano i principali rivelatori; accanto al nome di ognuno si riporta l'indice della sua energia rispetto a quella dell'idrochinone preso come riferimento (valore = 1).

I rivelatori sono sostanze organiche di tipo essenzialmente aromatico. Si tratta di polifenoli, ammine, amminofenoli, composti eterociclici, le cui caratteristiche dipendono dalla struttura molecolare.

Fenoli

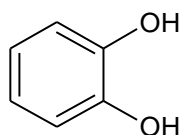
Sono sostanze aromatiche con due o più gruppi fenolici -OH, comprendenti alcuni dei rivelatori più importanti.

Idrochinone (benzene-1,4-diolo); 1



È il principale esponente della famiglia dei polifenoli e il rivelatore più usato in assoluto. Si presenta sotto forma di aghi bianchi; può essere utilizzato anche se grigiastro o rosato, ma deve essere scartato se giallo. Si usa da solo soltanto negli sviluppi fotomeccanici a causa dell'elevato contrasto che conferisce all'immagine; non è, infatti, in grado di riprodurre in modo soddisfacente i mezzi toni.

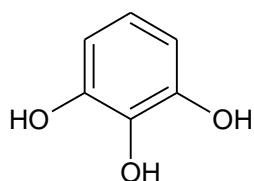
Pirocatechina (benzene-1,2-diolo); 7



È molto simile all'idrochinone, ma con caratteristiche diverse, e si presenta sotto forma di aghi bianchi o rosati. Il suo

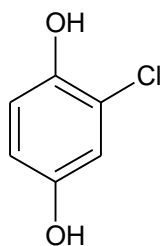
prodotto di ossidazione indurisce fortemente la gelatina. Se lo sviluppo contiene pochissimo solfito, così da non provocare la solfonazione del prodotto di ossidazione, accanto all'immagine di argento si deposita un'immagine giallo-bruna che aumenta il contrasto del negativo. La sua azione, a parte la minore energia, assomiglia a quella delle miscele metolo-idrochinone.

Pirogallolo (benzene-1,2,3-triolo); 16



È reperibile sotto forma di polvere bianca o di cristalli bianchi o rosati. Analogamente alla pirocatechina indurisce fortemente la gelatina e forma un'immagine secondaria bruna (solo in presenza di concentrazioni molto basse di solfito). Macchia fortemente le mani. Non si conserva in soluzioni alcaline, quindi i bagni vanno preparati in due soluzioni da mescolare al momento dell'uso. È di uso limitato.

Cloroidrochinone (2-clorobenzene-1,4-diolo); 6-7

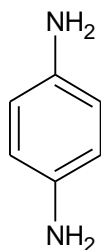


È reperibile sotto forma di aghetti o scaglie incolori. È meno ossidabile e molto più energetico dell'idrochinone. Trova impiego soprattutto in associazione con il fenidone.

Ammine

Le ammine più semplici, utilizzabili come rivelatori, sono diammine aromatiche. Benché siano ormai totalmente abbandonate, alcuni loro derivati sono utilizzati come rivelatori cromogeni.

***p*-Fenilendiammina (benzene-1,4-diammina) o PPD; 0,3**

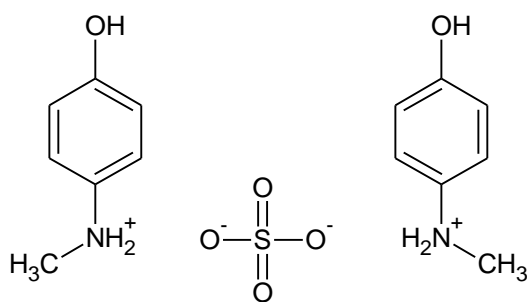


È una sostanza molto tossica che può indurre dermatiti fastidiosissime. È dotata di notevole potere solvente nei riguardi dell'alogenuro di argento. Se impiegata da sola, necessita di un'elevata alcalinità per dare un contrasto ragionevole; in combinazione con rivelatori quali metolo, idrochinone, pirocatechina, la sua energia aumenta nettamente e non richiede più un pH caustico. È la base per la preparazione degli attuali rivelatori cromogeni.

Amminofenoli

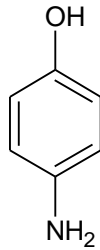
Sono sostanze aromatiche contenenti gruppi amminici e fenolici e costituiscono il gruppo più numeroso di rivelatori.

Metolo (4-(metilammino)fenolo); 20



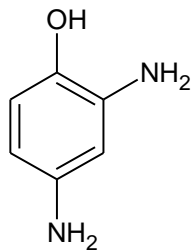
È il principale esponente della famiglia degli amminofenoli ed è il rivelatore più usato dopo l'idrochinone. Si presenta sotto forma di scaglie bianche o grigiastre. Poco solubile in acqua, va sciolto prima del solfito. Grazie alla sua elevata energia è molto morbido e compensatore. È usato da solo o, per lo più, in miscela con l'idrochinone e con altri rivelatori. Dà una grana fioccosa se usato da solo. È preparato sempre sotto forma di solfato.

***p*-Amminofenolo (4-amminofenolo) o PAF; 6**



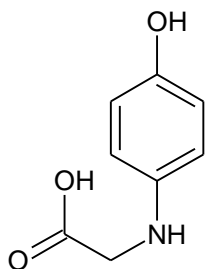
È venduto come cloridrato in piccoli cristalli bianchi o eventualmente grigiastri. È molto solubile in acqua e dà una grana compatta in combinazione con alcali forti. È usato da solo negli sviluppi ad alta nitidezza o in unione con altri rivelatori.

Amidolo (2,4-diamminofenolo); 30



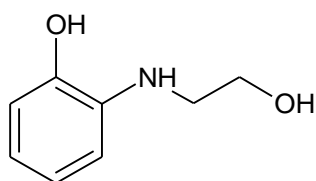
È il solo rivelatore capace di agire anche in soluzione acida. È venduto sotto forma di cristalli bianchi. Il colore grigio è indizio di alterazione in fase iniziale; il grigio intenso significa che il prodotto è da scartare perché completamente alterato. In soluzione alcalina è estremamente instabile. È usato talvolta negli sviluppi rapidi. Macchia la pelle.

Glicina (acido ((4-idrossifenil)ammino)acetico); 1,6



È reperibile sotto forma di lamelle madreperlacee o di polvere, difficilmente solubili in acqua ma molto solubili nelle soluzioni alcaline o di solfito. Poiché da solo fornisce immagini piuttosto contrastate ed agisce prima nelle luci e poi nelle ombre, si usa sempre in associazione con altri rivelatori.

2-((2-idrossietil)ammino)fenolo

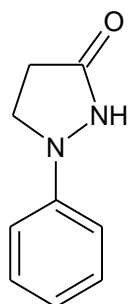


È un rivelatore non reperibile come tale in commercio. Entra nella formulazione di due sviluppi molto noti: nell'Atomal, in associazione con pirocatechina e idrochinone, e nel Promicrol, in unione con la glicina.

Eterociclici

Costituiscono un gruppo limitato di rivelatori, dei quali si utilizza il solo fenidone.

Fenidone (1-fenilpirazolidin-3-one); 100



È utilizzato sempre e solo in sinergismo con un altro rivelatore, nella maggioranza dei casi con l'idrochinone. Le miscele più attive hanno un rapporto fenidone:idrochinone di 1:30. La composizione può comunque variare entro limiti abbastanza ampi, ma sempre con una bassissima concentrazione di fenidone, dell'ordine dei decimi di grammo per litro.

Molti bagni di sviluppo al fenidone-idrochinone sono stati formulati partendo da soluzioni al metolo-idrochinone, sostituendo la dose di metolo con fenidone nella proporzione di 1:5 - 1:10. Il bagno risultante ha in genere un'energia superiore a quella del bagno originale, con un maggiore contrasto nelle ombre. Oltre alla grande attività, la caratteristica saliente delle miscele fenidone-idrochinone è la capacità di separare anche piccole differenze di tono e la nitidezza ottenuta è leggermente superiore a quella degli analoghi sviluppi al metolo-idrochinone, con una grana paragonabile.

Benché più costoso per unità di peso, il fenidone risulta più economico del metolo a causa del suo dosaggio estremamente basso. Data la grande energia del fenidone gli sviluppi che lo contengono possono generare il velo più facilmente di quelli al metolo-idrochinone. Si rende pertanto necessario l'impiego di un energico antivelo organico, in genere benzotriazolo, in una percentuale prossima al 50% del peso di fenidone, eventualmente in combinazione con un alogenuro alcalino.

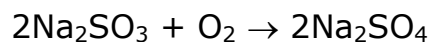
In definitiva i vantaggi del fenidone sono l'ottima gradazione tonale, l'energia molto elevata e la grande durata e costanza di attività dei relativi bagni. Infatti, l'idrochinone presente nel bagno rigenera il fenidone man mano che questo si ossida, mantenendone costante la concentrazione. Inoltre il fenidone non risente dell'accumulo di alogenuro alcalino.

Solfito

Il bagno di sviluppo contiene sempre solfito di sodio (Na_2SO_3), composto caratterizzato dalle proprietà descritte qui di seguito.

Antiossidante

È la funzione principale. Il solfito reagisce con l'ossigeno presente nell'aria che si scioglie nel bagno preservando il riducente dall'ossidazione:



Per questo motivo la sua concentrazione non deve scendere sotto i 3-4 g/l e i bagni che ne contengono una dose inferiore vanno gettati subito dopo l'uso.

Stabilizzante

In tutti i bagni, in combinazione con il composto alcalino, esercita una consistente azione tampone. In alcuni tipi di sviluppi si sfrutta la debole alcalinità del solfito per evitare di aggiungere altri alcali.

Solvente

Lo sviluppo non può procedere in assenza di solfito, a meno di impiegare rivelatori molto energici, ad esempio metolo, in soluzione molto alcalina e a scapito della velocità di trattamento. La sensibilità dell'emulsione si riduce appena il solfito è inferiore a 5 g/l e subisce un crollo sotto 2,5 g/l. Con il metolo si può scendere anche a 1 g/l, favorendo la nitidezza ma con perdita di sensibilità dell'emulsione.

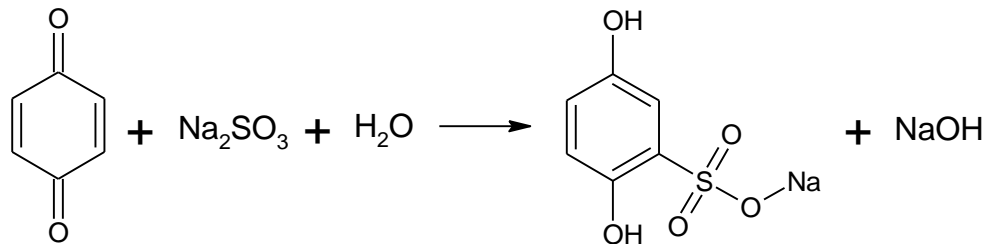
Le formule con concentrazioni di solfito così basse sono efficaci solo se si usano ottiche di elevata qualità; in caso contrario i residui di aberrazioni e le riflessioni sulle superfici delle lenti provocano la comparsa di un lieve velo sulla superficie dell'emulsione, con effetti analoghi a quelli del velo dicroico conseguente allo sviluppo fisico e una sensibile perdita di nitidezza per diffusione della luce.

L'azione solvente vera e propria del solfito, in seguito alla quale si ha un ridimensionamento dei cristalli, è evidente per concentrazioni inferiori a 50 g/l. A partire da questo valore, è necessario bilanciare la perdita di sensibilità conseguente all'azione solvente con un aumento dell'attività del rivelatore. Nel caso della coppia metolo-idrochinone si raggiunge il giusto compromesso a 100 g/l di solfito. Con rivelatori più energici (fenidone-idrochinone) l'aumento della concentrazione di solfito comporta un aumento del contrasto

nelle ombre a causa del maggior numero di germi profondi liberati e resi sviluppabili, con un massimo a 125 g/l.

Solfonante

Il solfito serve per decolorare e rendere inattivi i prodotti di ossidazione del rivelatore per formazione di un composto solfonato incolore e privo di capacità riducente e/o ossidante. A questo scopo sono sufficienti pochi grammi per litro. Nel caso del chinone si ottiene il 2,5-diidrossibenzenesolfonato di sodio:



Composto alcalino

Nei bagni di sviluppo sono presenti composti alcalini che hanno lo scopo di portare il pH a un valore basico ottimale per il processo di riduzione dell'argento. Quanto più una soluzione è alcalina ($\text{pH} > 7$), tanto più facilmente vengono ceduti elettroni e tanto più energico e rapido è lo sviluppo dell'immagine. Ma raggiungere il valore di pH prefissato non è sufficiente: esso deve anche rimanere costante nel corso del trattamento e mantenersi inalterato nel lungo periodo.

Quanto più alto è il valore del pH di una soluzione, tanto più complesso risulta stabilizzarlo, cioè mantenerlo invariato, a causa dell'ossidazione con l'aria. Con sviluppi contenenti alcali caustici (sviluppo alla soda caustica), si raggiungono valori molto elevati del pH, che sono però destinati a diminuire rapidamente per effetto dell'assorbimento di CO_2 dall'aria, con formazione dei corrispondenti carbonati.

I valori tipici di pH dei bagni di sviluppo di più comune impiego sono riassunti qui di seguito.

Alcalinità dei bagni di sviluppo

Tipi di sviluppo	Valori di pH
Sviluppi fotomeccanici	11,0 – 12,0
Sviluppi per carta metolo-idrochinone	10,0 – 10,4
Sviluppi per negativi metolo-idrochinone	9,0 – 9,4
Sviluppi per negativi fenidone-idrochinone	7,7 – 8,8

I composti alcalini utilizzati per ottenere bagni di sviluppo a pH basico sono comunemente di tipo sodico. Infatti, sebbene sia sempre possibile utilizzare i corrispondenti composti potassici, questi ultimi sono quasi sempre più costosi e maggiormente alterabili. Tranne qualche eccezione non esiste differenza di attività tra dosi equivalenti di sali sodici e potassici. Questi ultimi sono di regola più solubili dei corrispondenti sali sodici e permettono quindi di formulare bagni liquidi concentrati.

Borati

Sono essenzialmente due:

- 1) borace, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
- 2) metaborato, NaBO_2 (commercializzato anche con il marchio "Kodalk").

Il borace è un composto alcalino debole, adatto alla preparazione di sviluppi finegranulanti. Favorisce lo sviluppo fisico e lascia sui negativi una caratteristica lucentezza che, pur non essendo un vero e proprio velo, dà un effetto analogo a quello del velo dicroico.

Il metaborato ha una forza paragonabile a quella del carbonato, anche se è spesso impiegato nei finegranulanti, tamponato con acido bórico (H_3BO_3), per ottenere alcalinità molto basse. Genera una grana con una caratteristica struttura tenue e fioccosa.

Sia il borace sia il metaborato non sono quindi idonei alla preparazione di sviluppi ad elevata nitidezza.

Carbonato di sodio

Questo sale (Na_2CO_3) è il composto alcalino più diffuso, sia negli sviluppi per carta sia in quelli per negativi, specie se non finegranulanti. In pratica non se ne usa meno di 4 g/l ed a questa concentrazione l'alcalinità è ancora abbastanza elevata.

La sua principale impurezza è il bicarbonato (NaHCO_3) che ne abbassa l'alcalinità in soluzione. Si forma spontaneamente per azione dell'anidride carbonica atmosferica e si elimina per riscaldamento del carbonato ad alta temperatura.

Fosfati

Si tratta di tre fosfati:

- 1) NaH_2PO_4
- 2) Na_2HPO_4
- 3) Na_3PO_4

dei quali si usano in pratica solo i primi due, in quanto più alcalini. Il terzo è il composto alcalino più forte dopo la soda caustica, mentre il primo è paragonabile al carbonato.

Sono impiegati quasi sempre in miscela per ottenere pH abbastanza elevati e trovano impiego negli sviluppi ad alta concentrazione e nei bagni cromogeni.

Idrossido di sodio

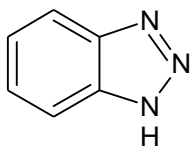
Questa base (NaOH), nota anche come **soda caustica**, è il composto alcalino più forte impiegato in fotografia. Si usa solamente negli sviluppi fotomeccanici o in quelli fortemente concentrati, nei quali si sfrutta la sua elevata solubilità.

Antivelo

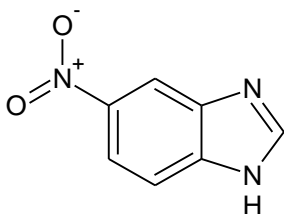
I cristalli dell'emulsione presentano germi sviluppabili anche in assenza di esposizione, responsabili della formazione del velo. Il valore di densità tollerabile che ne deriva dipende dal tipo di emulsione e dall'uso che se ne fa, ma è comunque necessario introdurre nel bagno di sviluppo un inibitore che impedisca o limiti la formazione del velo rallentando lo sviluppo dei relativi germi. Poiché l'inibitore utilizzato allo scopo non è ovviamente in grado di distinguere i germi del velo dai germi dell'immagine latente, ne consegue che rallentando lo sviluppo dei primi si rallenta inevitabilmente anche quello dei secondi. Gli antivelo agiscono quindi, in misura più o meno significativa, anche come rallentatori dello sviluppo.

L'antivelo più usato è il **bromuro di potassio (KBr)**, che ha anche un notevole effetto secondario: quello di ridurre parzialmente lo sviluppo fisico. In alternativa si possono utilizzare anche altri antivelo, tra i quali si segnalano due composti organici.

1) **1H-benzotriazolo:**



2) **5-nitro-1H-benzimidazolo**, dall'azione molto energica:



Tutti i composti antiveolo hanno in comune il fatto di essere adsorbiti rapidamente sulla superficie dei granuli di alogenuro di argento, ostacolando in questo modo l'attività dei germi di velo.

Nei negativi è indispensabile che la densità di velo sia inferiore a 0,1, senza tenere conto del supporto (0,2 circa con il supporto). Poiché la tendenza al velo aumenta proporzionalmente all'energia del rivelatore, occorre scegliere la concentrazione e il tipo di antiveolo in funzione del tipo di riducente impiegato. Mentre il secondo è usato esclusivamente negli sviluppi per il colore, il primo trova largo impiego in quelli b/n qualora si renda necessaria un'azione antiveolo particolarmente energica, come nel caso degli sviluppi al fenidone.

Un'azione particolarmente energica si ottiene associando il bromuro ed il benzotriazolo. In questo caso, a 1 g di solo bromuro si possono sostituire 0,5 g del sale insieme a 0,1-0,2 g di benzotriazolo. Volendo invece sostituire interamente il bromuro, con un conseguente leggero aumento dell'energia del bagno, il benzotriazolo deve essere pari al 25% circa della concentrazione stabilita per il sale.

Composti ausiliari

Oltre a quelli già citati, gli sviluppi attuali contengono vari altri tipi di sostanze che, pur non intervenendo nel processo di riduzione dell'argento, svolgono compiti accessori.



Lo ioduro di potassio, aggiunto in minima quantità, favorisce il raggiungimento di un'elevata nitidezza, ha un effetto

antivelo accentuato e accelera l'inizio dello sviluppo pur lasciando invariata la durata del trattamento.

Imbibente

È una sostanza che diminuisce la tensione superficiale dell'acqua e favorisce quindi la bagnatura delle superfici e l'imbibizione della gelatina.

Anticalcare

È un complessante (**EDTA, acido etilendiammintetracetico**) degli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} che impedisce la deposizione, sulle pellicole e carte fotografiche e sulle superfici di vasche, tubazioni, tank, ecc., del calcare dell'acqua e dei sali insolubili che i suddetti metalli formerebbero altrimenti con i componenti del bagno di sviluppo.

Antisettico

Evita la proliferazione di batteri negli sviluppi in vasca; a questo scopo si usano varie sostanze, tra le quali è molto comune l'acido acetilsalicilico.

Solubilizzante

La preparazione degli sviluppi concentrati da diluire al momento dell'uso può comportare problemi di solubilizzazione dei soluti. Si usano allora i solubilizzanti (per esempio poliglicoli alifatici), cioè composti che presentano più gruppi $-\text{OH}$ lungo la catena di atomi di carbonio. Queste sostanze agiscono anche da conservatori nei bagni contenenti fenidone o suoi derivati, in quanto rallentano i processi di alterazione del rivelatore.

Antischiuma

Previene la formazione di schiuma nel bagno di sviluppo.

Integratore

Il problema più grave connesso con l'uso di grandi volumi di sviluppo è quello dell'esaurimento progressivo del bagno. Altri problemi, come l'ossidabilità o la formazione di flora batterica nelle vasche, sono semplicemente risolti con una formulazione accurata e l'aggiunta di piccole quantità di disinfettanti (acido acetilsalicilico, ecc.).

È però possibile rigenerare periodicamente il bagno esaurito con l'aggiunta di appositi integratori. Dopo un certo tempo si raggiunge un equilibrio tra la quantità di integratore immesso e quella dello sviluppo alterato e asportato affinché la composizione del bagno rimanga costante. Si riesce in questo modo a sviluppare elevate quantità di pellicola nel corso di settimane o mesi senza sostituire il contenuto della vasca. In pratica si fa coincidere lo svuotamento delle vasche con le operazioni di manutenzione della macchina. Per produzioni su piccola scala esistono molti sviluppi con limitata capacità di integrazione. Essi vengono sostituiti dopo essere stati integrati con un volume di integratore pari a un multiplo del volume di bagno originario.

La composizione dell'integratore deve mantenere costante l'attività del bagno, sostituendo il rivelatore consumato (con il ripristino della sua attività) e bilanciando l'accumulo dell'alogenuro alcalino. Inoltre la sua concentrazione deve essere studiata in modo da sostituire esattamente la porzione prestabilita dello sviluppo al quale viene aggiunto, così da asportare la giusta quantità di prodotti di ossidazione.

Per ogni litro di sviluppo iniziale si possono aggiungere 1-2 l di integratore prima di procedere al ricambio totale del bagno. Si sostituisce il rivelatore con l'integratore man mano che il primo cala di livello nella vasca, in modo da mantenere costante il volume di liquido. La soda caustica contenuta in alcuni integratori serve a convertire in carbonato il bicarbonato che si è andato formando durante la permanenza dello sviluppo nella vasca.

L'impiego dell'integratore consente di mantenere costante per lunghi periodi l'attività del bagno di sviluppo, ma non la sua composizione. Si accumulano, infatti, prodotti di ossidazione dei rivelatori (solfonati dal solfito), alogenuri alcalini, argento sciolto dal solfito, solfati dovuti all'ossidazione del solfito, tracce di gelatina e varie sostanze estratte dall'emulsione, formatesi in seguito all'invecchiamento del bagno o introdotte con la polvere.

Tipologie di bagni di sviluppo

Sviluppo finegranulante

Nel corso dello sviluppo i filamenti di argento si svolgono dal cristallo di alogenuro esposto e si aggrovigliano formando agglomerati irregolari che sono la causa prima dell'aspetto granuloso degli ingrandimenti. Inoltre, poiché la reazione è esotermica, si libera una quantità non trascurabile di calore che provoca un sensibile innalzamento di temperatura intorno al

cristallo in fase di sviluppo, favorendo quindi il rammollimento della gelatina e la conseguente diffusione dei filamenti e quindi la crescita della granulosità.

Per ridurre l'effetto termico, è necessario rallentare la velocità dello sviluppo, affinché il calore, liberato più lentamente, possa essere asportato dalla soluzione, che agisce così da refrigerante. Il rallentamento dello sviluppo si può ottenere diminuendo semplicemente l'alcalinità del bagno; in questo modo si diminuisce pure il rigonfiamento della gelatina e il relativo ingrossamento della grana.

Per ottenere un pH moderatamente basico, si usano alcali deboli, quali il metaborato tamponato con acido borico e soprattutto il borace, anch'esso eventualmente tamponato con acido borico. I borati in genere hanno una scarsa azione solvente sulla gelatina e talvolta l'alcalinizzazione dello sviluppo è affidata interamente al solfito.

Uno sviluppo a grana fine è il risultato del compromesso tra sviluppo chimico e fisico. Questi due tipi di sviluppo sono, infatti, competitivi e tendono a dare una forma di grana completamente diversa. Lo sviluppo prevalentemente fisico genera una grana molto fioccosa, poco evidente in sé ma fastidiosa perché provoca una perdita di nitidezza. Lo sviluppo prevalentemente chimico dà una grana compatta ma molto grossa, con dimensioni crescenti con l'alcalinità e l'energia del rivelatore. È quindi indispensabile introdurre nel bagno opportune dosi di solfito per ottenere la quantità minima di sale solubile di argento indispensabile per favorire opportunamente lo sviluppo fisico.

La presenza nel bagno di un solvente dell'AgX contribuisce all'affinamento della grana anche perché, erodendo i cristalli in corso di sviluppo, li rimpicciolisce e impedisce la formazione di grossi aggregati di argento. Questa diminuzione delle dimensioni dei cristalli nel corso dello sviluppo fa sì che l'emulsione diventi simile ad una di sensibilità inferiore, costituita da una dispersione di cristalli di minori dimensioni. Nella pratica si nota appunto uno scarso sfruttamento della sensibilità delle emulsioni sviluppate con bagni finegranulanti, che obbliga in qualche caso alla sovraesposizione in ripresa. L'effetto solvente del solfito diviene sensibile con concentrazioni di circa 50 g/l, mentre l'influenza negativa sulla sensibilità si nota sopra i 70 g/l.

I rivelatori oggi più impiegati nella formulazione di sviluppi finegranulanti sono il fenidone e la coppia metolo-idrochinone. Il fenidone, sempre in coppia con l'idrochinone o con altri rivelatori, possiede un'energia eccezionale, tanto da consentire non una perdita bensì un guadagno di sensibilità pur con un'alcalinità nettamente minore di quella richiesta dalla coppia metolo-idrochinone.

La sensibilità intrinseca di un'emulsione è un dato che non si può cambiare: un'emulsione nasce con una certa sensibilità e nessuno sviluppo può né aumentarla né diminuirla. Le differenze di sensibilità che si riscontrano con i diversi sviluppi sono connesse con l'efficienza di sfruttamento dell'immagine latente formatasi durante l'esposizione. Gli sviluppi meno energici non sono in grado di sviluppare i germi più piccoli, che quindi vanno perduti agli effetti della formazione dell'immagine. Poiché questi germi corrispondono alle ombre del soggetto, queste risultano vuote o con scarso contrasto. Si deve allora sovraesporre, rispetto alla sensibilità dichiarata, per ottenere ombre ben modulate e la cosa equivale ad una perdita di sensibilità. Al contrario gli sviluppi più energici sono in grado di sviluppare anche i germi più piccoli, ma non tutti, altrimenti si avrebbe il massimo sviluppo del velo, cosa che annullerebbe il vantaggio conseguito. In pratica **perdita di sensibilità** e **guadagno di sensibilità** sono termini impropri ma di uso comune.

Sviluppo normale e sviluppo compensatore

Affinché si possa stampare un negativo con risultati soddisfacenti, è necessario che le ombre siano sufficientemente contrastate. Questo risultato si può raggiungere in ogni caso, a meno di forti sottoesposizioni, pur di prolungare a sufficienza il tempo di sviluppo. Ma la conseguenza può essere un sovrasviluppo delle luci con annerimento quasi totale dell'emulsione e la perdita di ogni dettaglio. Questo inconveniente si verifica con i cosiddetti **sviluppi normali**, cioè non dotati di alcuna caratteristica che non sia quella di fornire un'immagine nel fotogramma impressionato. Si comportano in questo modo alcuni vecchi sviluppi per vasche, gli sviluppi concentrati non usati alla giusta diluizione e quasi tutti gli **sviluppi universali**, vale a dire per carte e pellicole.

La competizione tra azione solvente, sviluppo chimico e sviluppo fisico impedisce la riduzione completa dei cristalli più esposti, a causa anche della bassa alcalinità del bagno. Contemporaneamente la presenza del solvente favorisce lo sviluppo, sia pure parziale, dei cristalli meno esposti in corrispondenza delle ombre. Rispetto alle luci, le ombre aumentano quindi con densità e contrasto superiori a quanto avviene con gli sviluppi normali. Gli sviluppi dotati di simili proprietà di compensazione dei contrasti si chiamano usualmente **sviluppi compensatori**.

Capita talvolta che le proprietà compensatrici siano particolarmente elevate e si accompagnino a un vero e proprio arresto dello sviluppo delle luci quando queste abbiano raggiunto una certa densità. Questo fenomeno avviene quando potere solvente e alcalinità dello sviluppo si equilibrano in

maniera particolarmente efficace, come nel caso di una soluzione tampone a basso pH.

Un'indicazione sulle caratteristiche dello sviluppo si può avere osservando come cresce il contrasto con l'aumentare del tempo di sviluppo:

- gli sviluppi normali raggiungono un contrasto accentuato e questo muta in maniera molto sensibile al variare del tempo di sviluppo;
- gli sviluppi compensatori non raggiungono mai un contrasto molto elevato e consentono anche notevoli variazioni nel tempo di sviluppo senza che si abbiano contraccolpi sul contrasto;
- gli sviluppi estremamente compensatori presentano un'inerzia ancora maggiore alle variazioni di contrasto e l'aumento di quest'ultimo avviene solo nei primi istanti del trattamento, in seguito cresce solo la densità, mentre il contrasto rimane praticamente costante.

Con gli sviluppi compensatori più spinti non si raggiunge mai l'annerimento massimo possibile con un determinato negativo: le luci più alte rimangono trasparenti anche se sovraesposte.

Talvolta un notevole effetto compensatore è ottenuto senza cercare un buon equilibrio tra alcali e solvente. È il caso degli sviluppi a forte diluizione, contenenti per lo più un composto alcalino caustico. Qui il potere compensatore è dovuto proprio alla diluizione: le luci ricevono una quantità di rivelatore proporzionalmente limitata, mentre le ombre ne hanno in abbondanza. Il risultato è una compensazione dei contrasti in pratica identica a quella degli sviluppi compensatori. La compensazione però sparisce con il diminuire della diluizione.

Sviluppo ad alta nitidezza

Nitidezza e definizione sono due grandezze largamente soggettive, essendo semplici impressioni visive. Al contrario l'acutanza ed il potere risolvante sono grandezze effettivamente misurabili, legate rispettivamente alla nitidezza e alla definizione. Tutte queste grandezze dipendono dalla struttura del negativo, cioè dalla sua granulosità che diffonde la luce e provoca la perdita visiva dei dettagli più fini registrati.

L'ottenimento della massima nitidezza compatibile con la granulosità intrinseca di una certa emulsione è legato a diversi fattori, molti dei quali estranei allo sviluppo. È indispensabile innanzi tutto la massima correzione delle ottiche, tanto che per determinati lavori è necessario ricorrere agli obiettivi apocromatici. Occorre poi limitare al massimo i riflessi, dentro e fuori la macchina fotografica, in modo da non alterare il contrasto dell'immagine che si forma sul piano focale (in ogni caso, con soggetti

fortemente illuminati, il contrasto dell'immagine ottica è circa 3-4 volte minore di quello misurato sul soggetto a causa dei riflessi sulle superfici aria-vetro dell'obiettivo). Naturalmente la messa a fuoco deve essere accurata e non devono esserci vibrazioni durante la ripresa. È anche indispensabile che l'ingranditore impiegato sia di ottima qualità.

Una volta soddisfatti tutti questi requisiti, la massima nitidezza si può ottenere solo da un negativo che presenti il minor numero possibile di discontinuità dell'immagine e sia privo di riflessioni interne.

Un negativo dotato di grana molto fine presenta naturalmente una struttura molto continua e regolare ma, in genere, a causa dell'intensa e finissima deposizione fisica inevitabile con gli sviluppi a grana fine, la luce subisce una forte diffusione nell'attraversarlo. Ciò è dimostrato dall'aspetto chiaro dei negativi sviluppati in bagni finegranulanti al borace, dovuto alla luce diffusa.

Per avere il massimo di nitidezza è quindi necessario rinunciare a una grana molto fine pur di avere una struttura che non si presti a riflessioni interne, cioè che si avvicini a quella costituita da granuli molto neri dovuti allo sviluppo chimico e senza lo schermo diffusore della deposizione fisica. Uno sviluppo interamente chimico di tipo usuale forma però una grana inaccettabile, grossa ed irregolare; si deve quindi ricorrere a sviluppi piuttosto diluiti per diminuire la velocità di sviluppo chimico, senza che quello fisico prenda il sopravvento.

Effetto contagio

Durante lo sviluppo si nota come la riduzione dell'alogenuro proceda non solo sui cristalli esposti ma anche su quelli immediatamente vicini. Si verifica come un contagio dei cristalli vicini a quelli esposti con conseguente perdita di nitidezza e risolvenza.

Il comportamento delle emulsioni nei riguardi dell'effetto contagio è variabile e dipende anche dal tipo di sviluppo adottato. In genere l'effetto è maggiore nelle emulsioni più compatte, del tipo oggi impiegato per la preparazione dei materiali a strato sottile. Gli strati sottili, se presentano dei vantaggi a causa della minor possibilità di diffusione della luce, sono anche i più soggetti alla perdita di nitidezza per effetto contagio. Per conservare i vantaggi dello strato sottile è quindi indispensabile diminuire il più possibile l'entità di tale effetto.

Sembra che la causa dello sviluppo dei granuli non esposti vada ricercata nella formazione di composti di ossidazione del rivelatore. Per diminuire la

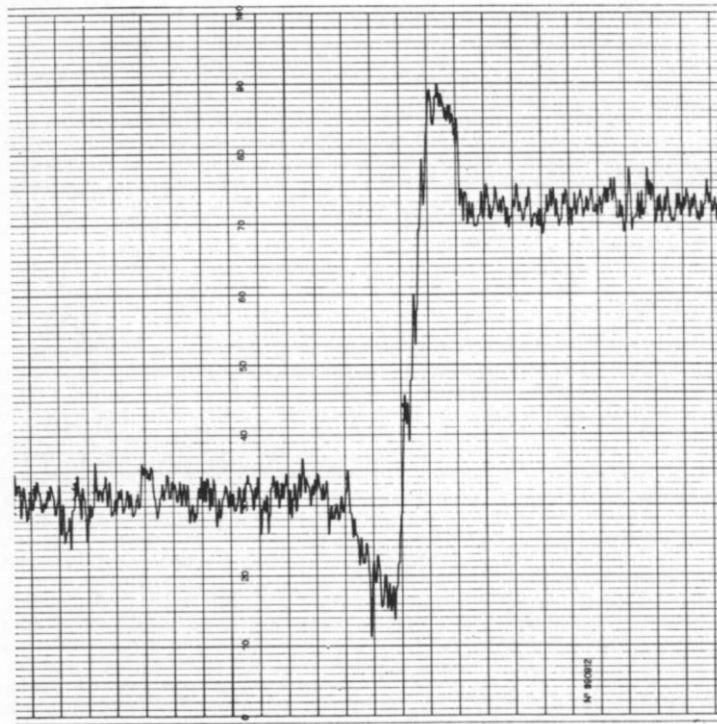
concentrazione del prodotto di alterazione, si deve diminuire la concentrazione del rivelatore per diluizione del bagno. In questo modo si ha anche una diminuzione della concentrazione di solfito, composto che favorisce la formazione dei suddetti derivati di ossidazione.

Si può sfruttare l'effetto contagio per ottenere un aumento effettivo della sensibilità dei materiali: se con un solo cristallo impressionato si riesce a svilupparne due, per ottenere la stessa densità che si avrebbe senza contagio è sufficiente un'esposizione dimezzata. Ciò comporta però bassissima nitidezza, forte velo, grana accentuata e basso contrasto.

Effetto Eberhard

Per lo sviluppo ad alta nitidezza si sfrutta ampiamente il fenomeno che ha per effetto l'esaltazione dell'acutanza e che si manifesta durante lo sviluppo delle emulsioni.

Al confine tra zone di diverso annerimento si ha uno scambio molto intenso di molecole di rivelatore attivo e ossidato. Il rivelatore attivo, presente in forte concentrazione nella zona meno annerita, migra verso quella più annerita dove è stato consumato più rapidamente e quindi è in difetto; i prodotti di ossidazione seguono il cammino inverso. Nei pressi della linea di confine tra due aree diversamente impressionate si vengono così a creare una zona di forte concentrazione di rivelatore attivo e una zona impoverita, con uno sviluppo quindi irregolare. Nei pressi della linea di separazione la parte più scura presenta sul margine un valore di densità superiore rispetto a quello nell'interno, mentre quella più chiara presenta sul margine un valore di densità inferiore rispetto a quello nell'interno. Questo effetto, denominato anche **effetto di adiacenza**, ha come risultato la formazione di una linea di separazione netta attorno al soggetto, con conseguente aumento dell'acutanza. L'effetto diminuisce con il prolungarsi del tempo di sviluppo e può essere notato solo usando obiettivi altamente corretti, soprattutto se apocromatici. L'aspetto più o meno granuloso del negativo non ha praticamente alcuna influenza sull'effetto Eberhard e quindi neppure sull'acutanza.



La diluizione favorisce la nitidezza facilitando l'insorgere dell'effetto di adiacenza. Con uno sviluppo molto diluito si ha, infatti, un rapido esaurimento del rivelatore nella parte più esposta e quindi un immediato richiamo di rivelatore fresco dalla parte meno esposta. Nei pressi della linea di separazione delle due zone, quella meno esposta rimane praticamente non sviluppata, almeno nei primi istanti, con conseguente esaltazione dell'effetto. L'aggiunta di una piccolissima quantità di ioduro di potassio accentua l'effetto Eberhard.

Poiché la caratteristica comune di tutti i bagni ad alta nitidezza è l'elevata diluizione, la loro formulazione presenta alcune particolarità.

Innanzitutto gli sviluppi molto diluiti sono fortemente instabili. Per prepararli è quindi indispensabile formulare una soluzione concentrata da diluire al momento dell'uso. L'alcalinità è forte e deve rimanere tale anche in seguito alla diluizione. Per questa ragione si è usata a lungo la soda caustica, che è miscibile all'acqua in tutte le proporzioni e non crea problemi di saturazione, ma che è anche estremamente pericolosa per la pelle e gli occhi. La stabilizzazione dell'alcalinità caustica si ottiene bisolfito (NaHSO_3 , solfito acido di sodio) che, reagendo con la soda caustica, genera anche l'indispensabile solfito.

Il rivelatore deve avere un'energia sufficiente, essere solubile nella soluzione concentrata a elevata alcalinità, non innescare lo sviluppo per contagio e non provocare la crescita di una grana fioccosa. Per lungo tempo si è usato il p-amminofenolo, ma si va generalizzando l'uso di altri rivelatori e di altri alcali.

Tra questi, hanno dato buona prova gli sviluppi al metolo carbonato. Negli sviluppi di questo tipo l'elevata nitidezza è dovuta non tanto all'effetto di adiacenza quanto alla bassa concentrazione di rivelatore e alla buona alcalinità; ma, in certi casi, l'aggiunta di ioduro riesce a produrre l'effetto desiderato. Talora si usa una dose relativamente alta di solfito, necessaria per sciogliere il velo che si forma alla superficie del negativo e che è dovuto alla luce diffusa all'interno della fotocamera. Questo velo agisce diffondendo la luce durante l'ingrandimento, analogamente al velo dicroico che si forma quando si sviluppa nei bagni finegranulanti. La concentrazione ottimale di questa sostanza per sciogliere il velo da luce diffusa è di 30-40 g/l. In questo caso non si può propriamente parlare di sviluppi a elevata nitidezza, ma solo di bagni capaci di dare i migliori risultati con un'attrezzatura relativamente scadente. I veri bagni per elevata nitidezza contengono pochissimo solfito.

Poiché le particolari caratteristiche degli sviluppi ad alta nitidezza sono collegate alla bassa velocità di ricambio del rivelatore, occorre porre molta attenzione all'agitazione. Questa deve essere la minima possibile compatibilmente con il ricambio del bagno sulla superficie dell'emulsione. Una forte turbolenza, quale quella data da un'agitazione continua ed efficiente può causare un sensibile scadimento nella nitidezza dei negativi.

Si distinguono due classi di sviluppi: ad alta e altissima nitidezza. I primi sono quelli che non sfruttano quasi l'effetto Eberhard; i secondi invece si basano prevalentemente su questo effetto e sono consigliabili solo con le emulsioni di bassa sensibilità.

Sviluppo per carte

La differenza fondamentale tra sviluppi per negativi e sviluppi per carte, o comunque per materiali positivi, è costituita dal fatto che questi ultimi devono raggiungere l'annerimento massimo possibile, lasciando contemporaneamente i bianchi puliti. Questi sviluppi devono quindi utilizzare completamente l'argento contenuto nell'emulsione, al fine di ottenere i neri più densi.

Lo sviluppo dei materiali positivi è anche meno controllabile di quello per i negativi. Occorre, infatti, sempre sviluppare a fondo (gamma infinito) e quindi il contrasto è stabilito più dal materiale sensibile che non dal bagno impiegato.

Qualsiasi bagno, sufficientemente energico per dare annerimenti completi e con la quantità minima di bromuro per ottenere tale risultato in un tempo ragionevole, è adatto allo scopo. I tempi ridotti di sviluppo sono favoriti anche dalla finezza di grana dei materiali positivi e dallo spessore esiguo dell'emulsione. Lo sviluppo, quindi, può penetrare e agire rapidamente. Per ottenere uno sviluppo completo è comunque necessaria una buona alcalinità ($\text{pH} \cong 10$), normalmente assicurata da carbonato di sodio. Occorre anche una combinazione di rivelatori, metolo-idrochinone o fenidone-idrochinone, spostata verso l'idrochinone, per favorire il raggiungimento di un gamma infinito sufficientemente alto ($\gamma_{\infty} = 2 - 5$) secondo la gradazione del materiale.

Altrettanto importante è l'ottenimento di bianchi puliti per ampliare la gamma di toni riproducibili sulla stampa. A questo fine è determinante la qualità del supporto, che deve essere particolarmente riflettente, grazie anche all'impiego di sbiancanti ottici. Questa aggiunta non si fa, evidentemente, nelle carte colore avorio o camoscio, che comunque devono sempre essere prive di velo. Occorre comunque una minima concentrazione di bromuro, senza aumentare i tempi di trattamento.

Naturalmente deve essere presente anche il solfito. Poiché la grana dei materiali positivi è già di per sé finissima e comunque non visibile sulle stampe, questa sostanza serve solo a decolorare i prodotti di ossidazione (per evitare la formazione di macchie), ad assicurare un minimo di sviluppo fisico, ad accelerare lo sviluppo chimico (portando allo scoperto i centri di sviluppo non superficiali) e a impedire l'ossidazione del rivelatore (ciò è fondamentale nel caso di sviluppo in bacinella, con un'ampia superficie esposta all'aria).

I bagni al metolo-idrochinone sono particolarmente sensibili all'ossidazione. Quelli al fenidone-idrochinone lo sono in misura decisamente inferiore, poiché il fenidone ossidato è ridotto dall'idrochinone e la concentrazione di partenza del rivelatore attivo rimane praticamente costante fino a che quella dell'idrochinone non scende sotto il livello di guardia. Questi bagni, quindi, contengono spesso meno solfito, cosa che ne rende più facile la preparazione in forma liquida concentrata.

Dato il tempo limitato disponibile per lo sviluppo completo, la bagnatura dell'emulsione e la diffusione del rivelatore svolgono un ruolo importante. È quindi utile la presenza di un tensioattivo, per facilitare la distribuzione uniforme dello sviluppo sull'emulsione, e un anticalcare (EDTA), per evitare macchie e dare bianchi puliti.

La struttura della grana ha un'importanza fondamentale per il suo colore. Quanto più fine è la grana, tanto maggiore è il suo potere coprente e minore è la diffusione della luce all'interno dell'emulsione. Dato che il blu

viene diffuso ben quattro volte più del rosso, è evidente che il colore del deposito di argento, cioè il suo tono di nero, dipende dalla struttura della grana. In genere le carte al bromuro di argento consentono di ottenere toni neutri o freddi e quelle al clorobromuro toni caldi. Sul colore delle prime non si riesce a influire molto. Con le carte al clorobromuro e un bagno di composizione appropriata si possono ottenere toni variabili da neutro a caldo.

Il fattore più importante per la tonalità del nero è il contenuto in KBr del bagno. Questo è sempre tenuto a una concentrazione relativamente bassa, poiché si deve sviluppare a gamma infinito in un tempo decisamente breve. Un aumento della concentrazione di bromuro, compensato da un aumento dell'alcalinità per contenere la durata del trattamento, porta all'ottenimento di immagini più calde. Effetto analogo ha l'idrochinone, mentre il metolo favorisce la formazione di immagini fredde.

È possibile sostituire il bromuro di potassio con bromuro di ammonio. Lo ione ammonio consente, infatti, l'ottenimento di toni caldi; ma, data la volatilità di questa sostanza, è difficile ottenere un pH riproducibile e stabile.

Sviluppo fotomeccanico

Sviluppo lith

Con questo termine si intende uno sviluppo speciale studiato espressamente per i materiali ad alto contrasto che sono usati per riproduzioni retinate e al tratto. Le pellicole lith trattate in sviluppo lith, sono estremamente contrastate, così che nella retinatura si possono ottenere punti di retino delimitati con estrema nitidezza e minima velatura di fondo.

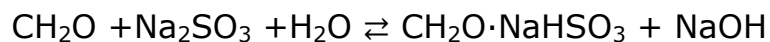
Il prodotto riducente impiegato è, in genere, l'idrochinone. Il contrasto elevato che caratterizza le fotoriproduzioni lith si genera mediante i prodotti intermedi di ossidazione dell'idrochinone, che accelerano la reazione di sviluppo:

idrochinone \rightleftharpoons semichinone \rightleftharpoons chinone

Il semichinone è un riducente più attivo del prodotto di partenza. Inoltre avviene anche la reazione seguente, che aumenta notevolmente la concentrazione del semichinone:

idrochinone + chinone \rightleftharpoons semichinone

e quindi la velocità di reazione. Tale reazione è però inibita dalla presenza di Na_2SO_3 (il semichinone si forma solo se il solfito è in quantità inferiore all'1%: in caso contrario si ottiene una reazione secondaria indesiderata). Con l'aggiunta di paraformaldeide $[(\text{CH}_2\text{O})_3]$ si forma una specie di soluzione tampone che blocca il solfito sotto forma di bisolfito di sodio-formaldeide:



Gli sviluppi lith sono per loro natura instabili (a causa della bassa concentrazione di solfito libero per contrastare l'azione ossidante dell'ossigeno atmosferico) e vanno integrati con la massima attenzione.

Sviluppo RA

Si tratta di uno sviluppo che richiede una temperatura relativamente alta (32 - 38 °C) ed effettua un trattamento completo delle pellicole e delle carte nel tempo di 1 - 2 minuti.

L'azione dello sviluppo lith permette la formazione di punti netti e ben formati, ma porta anche ad effetti limite che danno luogo a variazioni della dimensione dei punti e a forte dipendenza del risultato dall'agitazione della soluzione durante lo sviluppo. Questo difetto non si riscontra nei sistemi **RA (Rapid Access)**, nei quali il contrasto è praticamente indipendente dallo sviluppo locale.

Tutti i materiali succedanei del lith soddisfano oggi due diverse condizioni: producono un contrasto relativamente alto e permettono un'esposizione ben controllata grazie alla loro ampia latitudine di esposizione ed alla stabilità di trattamento.

Diversamente dai sistemi lith, che richiedono un accurato controllo dei bagni per avere dei buoni risultati, i rivelatori del sistema RA hanno una maggiore latitudine di sviluppo, cioè possono lavorare entro maggiori escursioni di temperatura e di concentrazione. Lo

sviluppo RA ha sostituito lo sviluppo lith in tutte le applicazioni.

Gli sviluppi RA contengono anche metolo o fenidone, capaci di aumentare significativamente la velocità di sviluppo, riducendone il tempo di induzione della reazione di riduzione degli ioni argento. Per sviluppi lith il tempo di induzione è di circa 35 s, per sviluppi RA è di pochissimi secondi. In pratica l'immagine compare immediatamente dopo l'introduzione della pellicola nel bagno; ciò è accompagnato però dall'ottenimento di un contrasto minore, poiché l'attività del rivelatore è inferiore.

Se gli sviluppi lith contengono meno solfito dei normali sviluppi tone, in quanto la bassa concentrazione in solfito è necessaria per permettere la reazione tra chinone e idrochinone, gli sviluppi RA ne hanno invece in quantità paragonabili a quelle degli sviluppi tone, al fine di impedire la formazione del semichinone; inoltre, la presenza di altri riducenti aumenta la velocità di reazione.

Arresto dello sviluppo

L'arresto immediato dello sviluppo permette di:

- controllare con maggiore precisione la durata del trattamento,
- evitare il proseguimento della riduzione dell'argento nel fissaggio, dove si ha inizialmente un intenso sviluppo fisico a causa dell'elevata concentrazione di ioni Ag^+ disciolti che vengono a contatto con il rivelatore di cui è impregnata l'emulsione, con eventuale formazione di velo dicroico.

In alternativa al bagno di arresto è possibile attuare un lavaggio dell'emulsione in acqua. In questo caso lo sviluppo non termina immediatamente, ma prosegue in condizioni nettamente diverse da quelle esistenti nel bagno precedente. Lo sviluppo subisce una repentina diluizione e perciò si esaurisce rapidamente in corrispondenza delle luci dell'originale, mentre continua ancora ad agire per qualche tempo in corrispondenza delle ombre con conseguente addolcimento del contrasto.

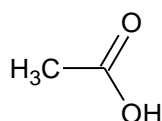
Questo modo di procedere può essere utile, ma ha due inconvenienti. Il primo è dovuto alla variabilità del processo (la temperatura dell'acqua, e quindi l'attività di questa specie di postsviluppo, varia nel corso dell'anno), che non consente di prevedere l'entità dell'addolcimento. Il secondo si verifica con gli sviluppi più energici: se il lavaggio non è immediato e regolare, si ha la formazione di macchie o ombre sul negativo.

Un bagno di arresto non presenta questi problemi, giacché la sua azione è immediata e si completa in pochi secondi. La durata complessiva del trattamento di arresto è di 25-30 s.

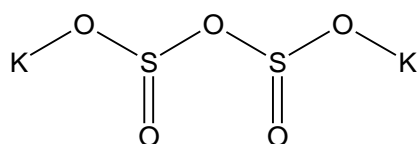
La formulazione del bagno di arresto è semplicissima, in quanto si tratta di una soluzione acida che modifica quasi istantaneamente l'ambiente alcalino all'interno della gelatina (pH finale < 7), impedendo quindi al rivelatore di proseguire la sua attività. Ciò comporta un ulteriore vantaggio: la gelatina, rigonfiata per l'azione del composto alcalino, coagula nuovamente ritornando alla resistenza meccanica originaria.

Benché in teoria qualsiasi acido sia in grado di arrestare lo sviluppo, in pratica si usano unicamente:

- acido acetico:



- acido borico (H_3BO_3),
- metabisolfito di potassio ($K_2S_2O_5$):



L'impiego del metabisolfito è sconsigliabile, poiché la sua azione acidificante è dovuta all'anidride solforosa (SO_2) che si libera nella soluzione e che è un gas molto tossico. È quindi da preferirsi l'acido borico, essendo la sua volatilità a temperatura ambiente praticamente nulla.

Per ragioni di comodità si impiega però generalmente l'acido acetico concentrato o glaciale (99%), da diluire in acqua usandone 25-30 ml/l. Una concentrazione inferiore si traduce in una vita troppo breve del bagno di arresto; una superiore è inutile perché la maggiore durata comporta un progressivo accumulo di residui dannosi nel bagno.

Il pH del bagno di arresto deve essere pari a 3-5. Per valori di pH superiori a 5 occorre scartare la soluzione.

Nel caso di emulsioni spesse (per esempio lastre radiografiche) il bagno di arresto non deve essere eccessivamente acido, altrimenti l'anidride carbonica, che si forma per neutralizzazione del carbonato sodico contenuto nel bagno rivelatore, si sviluppa troppo rapidamente e forma bolle in grado di lesionare la gelatina. È preferibile quindi fare uso di soluzioni tampone o di acidi più deboli dell'acido acetico (per esempio acido citrico).

Nei bagni di arresto induritori il blocco dello sviluppo si accompagna all'azione di indurimento della gelatina. Poiché gli attuali materiali in bianco e nero sono perfettamente in grado di sopportare, senza rigonfiamento eccessivo, alcalinità superiori al pH degli usuali bagni di sviluppo, gli arresti induritori non presentano praticamente nessun interesse. Sono viceversa usati invece per i materiali a colori e, talvolta, per quelli fotomeccanici.

Fissaggio dell'immagine

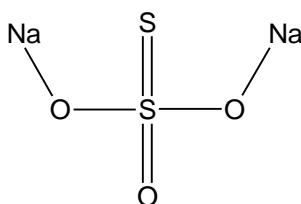
Compito del bagno di fissaggio è la rimozione completa dell'alogenuro di argento residuo non ridotto dallo sviluppo, al fine di ottenere un'immagine fotografica stabile nel tempo.

Il bagno di fissaggio deve contenere un solvente dell'AgX caratterizzato da:

- rapidità di azione,
- limite di esaurimento sufficientemente elevato,
- assenza di tossicità/nocività nei confronti delle persone e della gelatina.

La gamma di solventi disponibili a questo scopo (cianuri, tiocianati, tiourea, ammoniaca, sali di ammonio, tiosolfati, ecc.) è ampia, ma gli unici normalmente utilizzati (per motivi di sicurezza) sono i seguenti:

- tiosolfato di sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$):



- tiosolfato di ammonio ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$),

- cloruro di ammonio (NH_4Cl).

N.B.: *Il tiosolfato è anche indicato, erroneamente, come "iposolfito".*

L'argento forma con questi sali dei complessi stabili la cui composizione e solubilità dipendono dal rapporto tra le due specie.

Nel caso del tiosolfato di sodio si hanno le seguenti combinazioni:

Complessi argento-tiosolfato	
Tipo di complesso	Solubilità
$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_5 \cdot \text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$	molto solubile
$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_3 \cdot \text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$	molto solubile
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$	poco solubile
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot [\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3]_3$	insolubile

Come si può notare, all'aumentare del tenore di argento diminuisce la solubilità del complesso. Ciò si verifica quando la concentrazione in tiosolfato libero del bagno diminuisce per l'invecchiamento dello stesso (cioè per il progressivo aumento della concentrazione di Ag in soluzione man mano che si procede al fissaggio delle pellicole o carte). Il bagno è da considerarsi esaurito quando contiene gli ultimi due complessi che, essendo incolore, passano inosservati: l'immagine sembra completamente fissata e invece è semplicemente stabilizzata, esposta all'aggressione da parte della luce e dei prodotti di alterazione del tiosolfato.

In presenza di ioni ammonio (NH_4^+) si forma il complesso argento-ammonio $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, molto solubile. Ciò spiega da un lato la grande attività del tiosolfato di ammonio, derivante dall'attività complessante sia dell'anione sia del catione, e dall'altro i problemi dei fissaggi a base di ammoniaca prossimi all'esaurimento, legati alla competizione tra la reazione di solubilizzazione per formazione di argento-ammonio e quella di precipitazione per formazione di cloruro di argento. Si formano complessi o sali doppi progressivamente più ricchi in argento e più insolubili, come visto sopra per il tiosolfato. Poiché il tiosolfato di ammonio allo stato secco è facilmente alterabile, i relativi fissaggi sono generalmente venduti già preparati in soluzione concentrata da diluire con acqua.

Il cloruro di ammonio è un sale le cui soluzioni hanno una netta reazione acida e che, anche allo stato secco è molto corrosivo nei riguardi dei

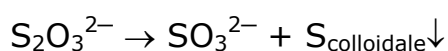
metalli, richiedendo quindi di essere conservato in recipienti di vetro o di plastica. Sebbene non sia nocivo per l'uomo durante le normali manipolazioni, occorre lavarsi accuratamente se si viene a contatto con il sale o sue soluzioni.

La durata del bagno di fissaggio deve essere tale da consentire la rimozione completa dell'alogenuro di argento residuo. Si dovrebbe lasciare agire il bagno per un tempo doppio di quello richiesto per la sparizione delle ultime tracce lattiginose di alogenuro; in pratica si opera per 10 minuti con i bagni al tiosolfato di sodio, per 5 minuti con quelli al cloruro di ammonio e per 2-3 minuti con quelli al tiosolfato di ammonio. Questi tempi possono essere ridotti per i moderni materiali a strato sottile e per i bagni freschi; vanno invece aumentati quando il bagno di fissaggio si avvicina all'esaurimento. Un prolungamento immotivato dei tempi di fissaggio può comportare il rischio di danneggiare l'immagine, indebolire eccessivamente le densità minori e, nel caso delle carte, favorire l'adesione delle molecole fissanti alle fibre cellulosiche con conseguente prolungamento del lavaggio (prolungare, per esempio, di cinque minuti il fissaggio significa dovere aumentare di almeno dieci minuti il lavaggio).

In base alla durata del trattamento si distingue tra fissaggi normali, rapidi e rapidissimi. Nonostante i fissaggi rapidissimi al tiosolfato di ammonio siano più costosi di quelli normali, sono in realtà più convenienti perché il loro limite di esaurimento è circa doppio e il tempo di trattamento richiesto è decisamente minore.

Non vi sono differenze sostanziali tra fissaggi per pellicole e per carte. In pratica si usano per entrambe bagni di fissaggio contenenti 200-300 g/l di tiosolfato. Solo nel caso di fissaggi al tiosolfato di ammonio è preferibile impiegare per le carte una preparazione più diluita (di solito a concentrazione dimezzata) di quella destinata alle pellicole.

Il bagno di fissaggio deve essere acido per neutralizzare qualsiasi residuo di sviluppo e per impedire il rigonfiamento della gelatina, di entità comunque inferiore a quello che si ha in ambiente basico. Il tiosolfato è molto sensibile a un'acidità eccessiva, decomponendosi in solfito e zolfo:



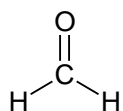
dove lo zolfo liberato è sotto forma colloidale che si deposita irreversibilmente nell'emulsione con formazione di un velo di colore giallo chiaro. Per questo motivo si deve impedire che il pH scenda sotto il valore 3,5 stabilizzandolo nell'intervallo 3,5-6. L'acidità è assicurata da un sale acido (metabisolfito o lo stesso cloruro di ammonio) o preferibilmente da un opportuno tampone.

Indurimento della gelatina

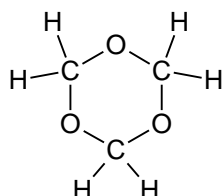
Alcune sostanze hanno il potere di indurire la gelatina fotografica. Un notevole indurimento della gelatina si ha già durante la sua fabbricazione, ma è comunque preferibile indurirla ulteriormente prima dell'asciugamento, in particolare se a caldo.

Gli induritori utilizzati sono i seguenti:

- **formaldeide:**



È usata soprattutto in fotomeccanica; è reperibile in soluzione acquosa al 37% (commercialmente nota come **formalina**) e sotto forma di **1,3,5-triossano**, un polimero reversibile:



I suoi vapori sono molto irritanti per gli occhi e le vie respiratorie.

- **allumi:**

$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$ incolore e scarsamente solubile in acqua

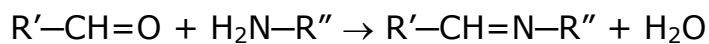
$K_2SO_4 \cdot Cr_2(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$ violetto e molto solubile in acqua

La loro azione indurente si esplica in pochi minuti, purché si operi in ambiente acido stabilizzato mediante tampone chimico.

L'indurimento della gelatina da parte di ioni metallici e di aldeidi è simile a quello che si verifica nella concia delle pelli. In effetti, il collagene è il costituente principale delle pelli e il costituente unico della gelatina.

Lo ione cromo forma complessi con le ammine e sali con gli acidi, si lega quindi facilmente con i gruppi amminici -NH_2 e carbossilici -COOH presenti nelle proteine, impedendone la dissociazione in acqua e rendendole meno solubili. Possono addirittura formare ponti fra catene proteiche distinte, impedendone il distacco e lo scorrimento. L'azione dell'alluminio è simile a quella del cromo, ma meno marcata, poiché reagisce solo con i gruppi carbossilici.

Anche le aldeidi, tramite il loro gruppo funzionale -CHO , reagiscono con le ammine. La reazione, detta di condensazione giacché si ha l'eliminazione di una molecola di acqua, è la seguente:



dove R' e R'' sono rispettivamente il resto della molecola dell'aldeide (-H nella formaldeide, -CH_3 nell'acetaldeide e così via) e la catena polipeptidica della proteina. Aldeidi bifunzionali (con due gruppi -CHO), come l'aldeide succinica ($\text{CHO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CHO}$), possono formare ponti fra catene proteiche diverse e producono quindi un indurimento più sensibile di quello ottenuto con la formaldeide.

Lavaggio finale

Il lavaggio finale delle pellicole e delle carte ha lo scopo di allontanare dall'emulsione qualsiasi traccia di prodotti chimici contenuti nel fissaggio, soprattutto tiosolfato, sali di argento e acidi. Il tiosolfato, anche se presente nell'emulsione solo in tracce, finisce per corrodere l'immagine entro breve tempo sbiancandola in parte o totalmente. Sali di argento sensibili alla luce provocano macchie sulla superficie dell'immagine oppure velature in seguito alla loro trasformazione in solfuro di argento per decomposizione o per azione dell'idrogeno solforato presente nell'atmosfera. Gli acidi o sali acidi di qualsiasi tipo aggrediscono la gelatina e il supporto provocandone il deterioramento in tempi più o meno lunghi. Tutti questi inconvenienti si eliminano completamente solo mediante un accurato lavaggio.

Il lavaggio delle pellicole, delle lastre e carte politenate è facile perché il supporto è impermeabile e non assorbe il fissaggio. Il piccolo spessore di gelatina si purifica rapidamente purché sia assicurato un buon ricambio dell'acqua nella vasca di lavaggio. Il lavaggio si può considerare soddisfacente solo dopo che l'acqua contenuta nella vasca è stata

totalmente ricambiata per 4-6 volte. Particolarmente efficienti sono le cosiddette turbolavatrici e le vasche di lavaggio a spruzzo immerso.

Per assicurare una completa eliminazione del tiosolfato con acqua a 15-19°C, si dovrebbe lavare le copie su carta per almeno per 1 h. Poiché un lavaggio così lungo è inammissibile ci si accontenta di un'eliminazione incompleta e si lava per 1/2 h. Il lavaggio va prolungato se si impiegano fissaggi al cloruro di ammonio. Non è invece necessario prolungarlo con quelli al tiosolfato di ammonio perché la maggior aderenza all'emulsione e alla carta di questo sale è compensata dalla minor durata del bagno.

L'efficienza del lavaggio aumenta con il metodo in controcorrente. La velocità di eliminazione delle sostanze dannose dipende dalla differenza di concentrazione di queste fra l'emulsione e l'acqua di lavaggio. Conviene quindi lavare prima con acqua già inquinata, riservando quella più pulita agli ultimi stadi del processo. Si impiegano più vasche che ricevono l'acqua in cascata, in direzione opposta a quella di trasferimento del materiale da lavare; due vasche sono spesso sufficienti.

La temperatura dell'acqua può variare tra 13 e 25 °C; sotto o sopra questi limiti occorre rispettivamente allungare o accorciare il lavaggio. Una permanenza eccessiva in acqua troppo calda può portare alla denaturazione della gelatina. Con un'acqua troppo dolce la gelatina si rigonfia eccessivamente ed è possibile il suo distacco dal supporto. Viceversa un'acqua molto dura può rendere problematica la preparazione delle soluzioni.

Asciugamento

L'ultima fase del trattamento dei materiali fotografici non è per questo meno importante. La gelatina bagnata può contenere da pochi decimi di grammo a 2 g di acqua per dm², in funzione dello spessore dell'emulsione. Per le carte occorre tenere conto anche dell'acqua assorbita dal supporto. I fattori che regolano l'eliminazione dell'acqua di impregnazione sono la temperatura e l'umidità relativa dell'ambiente in cui avviene l'essiccamento. L'umidità relativa, espressa in percentuale, è il rapporto fra la massa di acqua contenuta in un determinato volume di aria e la massa che lo stesso volume può contenere al punto di saturazione (punto di rugiada), quando una piccola diminuzione di temperatura o un piccolo aumento della quantità di vapore ne provocano la condensazione. A parità di umidità relativa, la massa di acqua per unità di volume di aria, cioè l'umidità assoluta, dipende dalla temperatura e precisamente aumenta con questa. Scaldando dell'aria

fredda l'umidità assoluta non varia quasi per nulla (in realtà il volume dell'aria aumenta un poco e quindi la massa di vapore di acqua per unità di volume diminuisce), ma l'umidità relativa diminuisce sensibilmente.

Fondamentale per l'essiccamento è la velocità del processo, che evidentemente aumenta con l'aumentare della temperatura e con il diminuire dell'umidità relativa. Al crescere della temperatura e dell'umidità le emulsioni non indurite o debolmente indurite mostrano un aumento non trascurabile, fino al 10%, della densità, soprattutto dei massimi annerimenti. Le emulsioni fortemente indurite nel bagno di fissaggio mostrano invece una diminuzione dei massimi annerimenti, che può raggiungere il 20%. Fortunatamente le attuali emulsioni a strato sottile sono influenzate solo in minima parte dal grado di indurimento, poiché la differenza di compattezza della gelatina prima e dopo l'indurimento nel fissaggio è minima.

È quindi evidente come sia decisamente preferibile non superare 40 °C negli essiccatori. Le prime fasi dell'essiccamento, le più critiche, avvengono con un valore iniziale di umidità relativa sufficiente a evitare, nonostante la sua progressiva riduzione, che l'emulsione diventi eccessivamente fragile.

Qualora si proceda alla smaltatura a caldo delle carte baritate, la piastra non deve superare 80 °C ($T_{\max} = 85 \text{ °C}$) per evitare problemi di distacco della gelatina al termine del processo.

La smaltatura migliore, in ogni caso, si esegue a freddo, rullando le copie contro un cristallo o una lastra da smaltatrice e lasciandole staccare da sole. La superficie di appoggio deve essere pulita a fondo per evitare l'adesione della gelatina.

Imbibente

Asciugando una pellicola lavata si possono formare sul dorso macchie calcaree bianche lasciate dalle gocce di acqua che si asciugano.

Il metodo più semplice, ma anche meno raccomandabile, consiste nell'asportare l'eccesso di acqua mediante una spugna o una pelle di camoscio, in quanto è molto facile produrre rigature (anche qualora si utilizzino apposite pinze).

Il metodo più efficiente consiste nell'immergere le pellicole per pochi secondi in una soluzione di imbibente. In questo modo si sostituisce l'acqua con una soluzione a bassa tensione superficiale che si stende uniformemente sul dorso senza formare gocce. Il velo calcareo si deposita ugualmente, ma è distribuito su tutta la superficie del film e non concentrato in macchie. L'imbibente è un tensioattivo sintetico simile a quelli usati nei detersivi, caratterizzato da purezza e assenza di alcali.