

Capitolo 4

Restauro e correzione del dropout

4.1 Introduzione

Descritta la fase di identificazione del difetto del dropout viene presentata la fase di restauro vero e proprio, consistente nella rimozione del difetto stesso. Il dropout, come già descritto nella classificazione dei difetti presenti nei filmati considerati in questa tesi, può presentarsi in forma di più righe, fino ad assumere la dimensioni di interi quadri. Anche la sequenza di quadri totalmente danneggiati può essere lunga. A seconda dell'entità del dropout il restauro prevede diversi tipi di interventi.

4.2 Il principio di funzionamento dell'algoritmo di restauro

Nella Fig.4.1 è esposto il diagramma di flusso dell'algoritmo di restauro. Ogni operazione inerente a ciascun blocco rettangolare è riferita ad un preciso paragrafo del capitolo 4. (Nel diagramma "d" sta per dispari, "p" pari, "C" per campo) Viene ora descritto tale diagramma. Fornita la sequenza video, l'algoritmo di restauro estrae uno ad uno i quadri. Per ogni quadro, viene analizzato ogni campo singolarmente, calcolandone gli indici trattati nel capitolo 3 e determinando le righe danneggiate dal dropout. Il restauro prevede, a seconda dell'entità del dropout, diversi tipi di interventi. Innanzitutto, per ogni campo, se il numero di righe danneggiate nel campo è minore o uguale alla soglia1 (es. 60%) viene eseguita la sostituzione delle righe danneggiate secondo il metodo del paragrafo 4.3 al punto 1); altrimenti il campo rimane immutato e passa al controllo successivo. Al secondo controllo, se il numero di righe danneggiate nel campo corrente è minore della soglia2 (<< soglia1) viene eseguita la sostituzione delle righe danneggiate secondo il metodo del paragrafo 4.3 al punto 2); altrimenti il campo

rimane immutato e passa al controllo successivo. A questo punto, i due campi che sono stati elaborati separatamente subiscono l'operazione di sostituzione del campo secondo il metodo del paragrafo 4.4. Il campo è ritenuto danneggiato se il numero di righe danneggiate rimaste da livelli superiori del diagramma è maggiore della soglia³ ($< \text{soglia}_2$). Segue l'operazione di creazione del fermo immagine descritta nel paragrafo 4.5. Viene infine introdotta la dissolvenza, secondo il metodo del paragrafo 4.8. Il diagramma di Fig.4.1 non descrive le operazioni in ordine cronologico, in quanto le due ultime operazioni citate vengono applicate rispettivamente in una seconda e terza iterazione, rispetto a tutte le operazioni precedenti. L'ordine cronologico vale pertanto se escludiamo queste due operazioni.

Va infine osservato che i valori delle soglie sopra menzionate possono essere scelti liberamente dall'utente; non esiste infatti un criterio oggettivo per decidere quando effettuare, ad esempio la sostituzione delle righe o quella del campo.

Il diagramma di flusso dell' algoritmo di restauro non è riportato

Fig.4.1: Diagramma di flusso dell' algoritmo di restauro

4.2.1 Esempi e considerazioni sul restauro del dropout

Questo paragrafo contiene alcuni esempi e considerazioni sul restauro del dropout, inseriti allo scopo di chiarire i diversi insiemi di operazioni effettuate. Le tecniche specifiche utilizzate sono descritte nel seguito del capitolo. [...]

Vengono descritte nei paragrafi seguenti le tecniche utilizzate nel diagramma di flusso di Fig.4.1. Viene inoltre introdotta la notazione utilizzata in seguito. Formalmente, i quadri componenti il filmato sono indicati con $Q(\vec{x}, n)$. Ciascuno di essi è descritto come:

$$Q(\vec{x}, n) = \begin{cases} F_d(\vec{x}, n) & (y \text{ dispari}) \\ F_p(\vec{x}, n) & (y \text{ pari}) \end{cases} \quad (4.1)$$

dove $\vec{x} = (x, y)^T$ indica la posizione spaziale, mentre n è la posizione temporale del quadro, T indica la trasposta; $F_d(\vec{x}, n)$ è il campo dispari (definito solamente per le righe dispari), $F_p(\vec{x}, n)$ è il campo pari (definito solamente per le righe pari). I quadri e i campi sono considerati solo nella loro componente di luminanza. Il vettore $\vec{y}_u = (0, 1)^T$ è lo spostamento unitario verticale, che verrà utilizzato in seguito. Per convenzione, l'origine è posta nell'angolo superiore sinistro.

4.3 Sostituzione delle righe danneggiate

La sostituzione delle righe viene effettuata nel caso in cui nel campo corrente venga individuato un numero limitato di righe affette da dropout, che non giustifica la sostituzione del campo intero, ma piuttosto la correzione delle sole righe danneggiate. In particolare viene fissata una soglia di riferimento, al di sotto della quale viene utilizzato tale metodo. La sostituzione delle righe viene distinta a seconda se eseguita all'interno del quadro o all'esterno del quadro corrente.

1) La prima consiste nell'eseguire la sostituzione delle righe danneggiate di un semiquadro con le medesime righe non danneggiate del semiquadro gemello, come rappresentato in Fig.4.2.

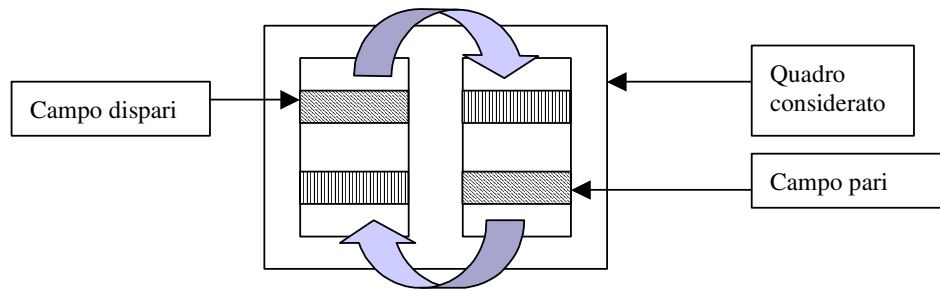


Fig.4.2: Sostituzione delle righe all'interno del quadro.

Utilizzando la notazione di (4.1), il quadro così restaurato risulta dato dalla (4.2):

$$Q(\vec{x}, n) = \quad (4.2)$$

dove le righe danneggiate di $F_d(\vec{x}, n)$ sono sostituite dalle medesime integre di $F_p(\vec{x}, n)$, e le righe danneggiate di $F_p(\vec{x}, n)$ sono sostituite dalle medesime integre di $F_d(\vec{x}, n)$.

2) La sostituzione all'esterno del quadro corrente consiste nell'eseguire la sostituzione delle righe danneggiate di un semiquadro, $F_d(\vec{x}, n)$ e/o $F_p(\vec{x}, n)$, con le medesime righe non danneggiate di semiquadri del quadro precedente e di quello successivo: $F_d(\vec{x}, n-1)$, $F_p(\vec{x}, n-1)$, $F_d(\vec{x}, n+1)$ e $F_p(\vec{x}, n+1)$.

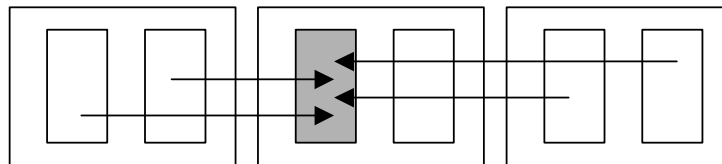


Fig.4.3: Sono indicati i quattro campi presi in considerazione in riferimento al campo dispari.

I campi dai quali vengono prelevate le righe sostitutive vengono scelti in ordine decrescente rispetto al numero di righe integre contenute nei campi, non seguendo alcun ordine prestabilito. Pertanto vengono calcolate, per ciascuno dei quattro

campi considerati, il numero di righe integre, rispetto al campo corrente, e i campi vengono ordinati in modo decrescente secondo tale parametro. Le righe da sostituire vengono prelevate dal primo dei suddetti campi ($F_d(\bar{x}, n-1)$ nel caso1, $F_p(\bar{x}, n-1)$ nel caso2, $F_d(\bar{x}, n+1)$ nel caso3 e $F_p(\bar{x}, n+1)$ nel caso4 nelle (4.3) e (4.4)); e se necessario, dal campo seguente secondo il predetto ordine, fino a prelevare le righe dell'ultimo dei quattro. A seconda delle quattro possibilità, il campo pari è ricostruito secondo la (4.3):

$$F_p(\bar{x}, n) = \quad (4.3)$$

mentre il campo dispari è ricostruito secondo la (4.4):

$$F_d(\bar{x}, n) = \quad (4.4)$$

In questo modo si cerca di evitare la segmentazione del semiquadro danneggiato, che avrebbe luogo se il semiquadro fosse ricostruito con insiemi di righe prese da semiquadri diversi, scelti in base ad un ordine prestabilito, come rappresentato in Fig.4.4 per il campo delle righe dispari.

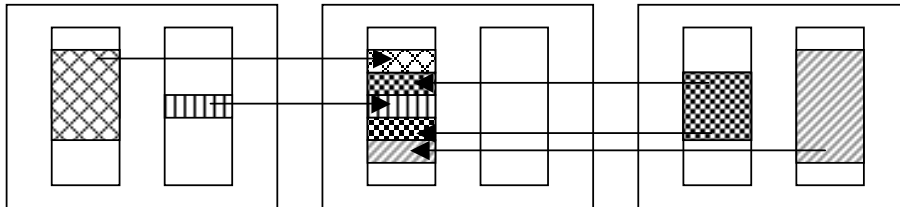


Fig.4.4: Segmentazione del semiquadro danneggiato.

I due metodi (paragrafo 4.3, caso 1) e 2)) di sostituzione delle righe danneggiate di un campo si basano sulla pura ripetizione delle righe prese da campi vicini, relativi comunque a istanti diversi rispetto al campo in esame. C'è dunque il rischio che tale modo di operare, nel caso 2), senza alcuna considerazione sul movimento tra i campi, introduca ulteriori difetti, quali per esempio disallineamenti fastidiosi tra le righe adiacenti ed eventuali cambi di luminosità, o porti all'introduzione di informazione sbagliata e ciò nel caso vi fosse un cambio di scena tra i campi presi in considerazione rispetto al campo corrente. In questo caso si potrebbe ricorrere alla stima e alla successiva compensazione del movimento tra i campi, (vedi paragrafo 4.9), valutando l'eventuale cambiamento di scena. La bassa qualità dei filmati non giustifica però l'implementazione di tecniche così complesse, in quanto i risultati ottenuti non produrrebbero apprezzabili miglioramenti della qualità globale del filmato restaurato. La stima e la compensazione del movimento verranno comunque presentati in seguito nel paragrafo 4.9 e nel capitolo 5 relativo al deinterlacciamento.

4.4 Sostituzione del semiquadro danneggiato

La sostituzione del semiquadro danneggiato ha come obiettivo l'eliminazione di un semiquadro e la successiva ricostruzione, nella medesima posizione della sequenza di campi componenti il filmato, di un semiquadro di qualità superiore, considerando l'informazione temporale più vicina non affetta da dropout. Per la ricostruzione di un campo è sufficiente ricostruire tutte le sue linee e di conseguenza tale intervento potrebbe essere eseguito mediante la tecnica esposta al paragrafo 4.3; si è preferito invece agire in modo differente e nella ricostruzione del campo è stato seguito il procedimento descritto in seguito in questo paragrafo. La sostituzione di un campo si rende necessaria quando il numero di righe danneggiate al suo interno supera la soglia l prefissata di Fig.4.1 (es. 60%); con tale percentuale di righe danneggiate la tecnica di sostituzione delle righe precedentemente esposta avrebbe scarso successo, per la poca informazione disponibile recuperabile del campo originale. Più in generale, nel processo di restauro (paragrafo 4.2), il campo è ritenuto danneggiato quando il numero di righe danneggiate è maggiore della soglia 3 .

Questa tecnica viene applicata a ciascun campo analizzato nell'operazione di restauro. Si possono verificare quattro casi differenti, ognuno dei quali richiede un diverso modo di operare. In particolare, per ogni quadro della sequenza, si possono presentare le seguenti situazioni:

1. nessuno dei due campi risulta danneggiato.
2. risulta danneggiato solo il campo dispari (paragrafo 2.3.2 caso A).
3. risulta danneggiato solo il campo pari (paragrafo 2.3.2 caso A).
4. risultano danneggiati entrambi i campi (paragrafo 2.3.2 caso B).

Vengono ora esposte le operazioni eseguite nei quattro casi possibili.

1. Quando nessuno dei due campi risulta danneggiato il quadro rimane inalterato.
2. Quando risulta danneggiato solo il campo dispari, il quadro stesso viene ricostruito ripetendo il campo pari come indicato in Fig.4.5 a).

$$Q(\bar{x}, n) = \quad (4.5)$$

3. Quando risulta danneggiato solo il campo pari, il quadro stesso viene ricostruito ripetendo il campo dispari come indicato in Fig.4.5 b).

$$Q(\bar{x}, n) = \quad (4.6)$$

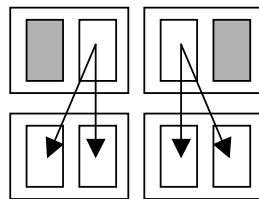


Fig.4.5: Quadro nel quale è danneggiato rispettivamente il campo a) dispari e b) pari.

4. nel caso in cui risultano danneggiati entrambi i campi, si procede all'analisi del campo pari precedente e del campo dispari successivo al quadro in esame, indicati in Fig.4.6 con la tessitura diagonale. Per la ricostruzione del quadro viene scelto il campo che tra i due risulta meno danneggiato. Si distinguono pertanto due casi, a e b, relativi rispettivamente alla scelta del campo $F_p(\bar{x}, n-1)$ e $F_d(\bar{x}, n+1)$.

Caso a):

$$Q(\bar{x}, n) = \quad (4.7)$$

Caso b):

$$Q(\bar{x}, n) = \quad (4.8)$$

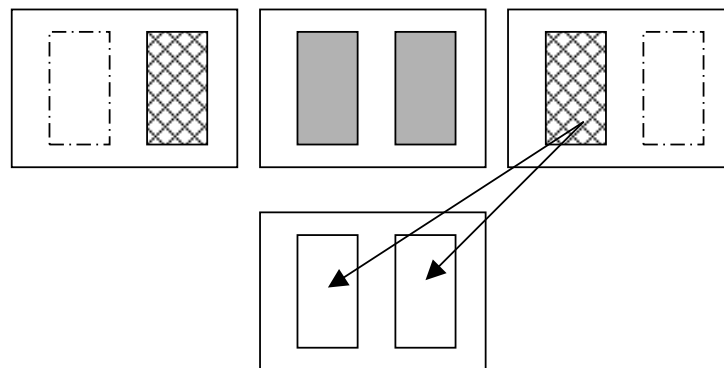


Fig.4.6: Esempio ricostruzione di un quadro secondo la (4.8).

L'applicazione del metodo sopra esposto non porta ad alcun risultato nel caso che siano danneggiati entrambi i campi presi in considerazione per la ricostruzione del quadro. Nel paragrafo 4.5 verrà chiarito anche questo aspetto, ma prima vengono discusse le possibili alternative.

4.4.1 Discussione delle alternative

Vengono ora discusse alcune alternative per il metodo descritto, con l'intento di dimostrare che le soluzioni già proposte nel paragrafo 4.4 sono le più ragionevoli. [...]

4.5 La necessità di più iterazioni

Quando il filmato da restaurare presenta sequenze di quadri interamente danneggiati, non è sufficiente l'operazione della sostituzione dei semiquadri applicata un'unica volta; la sequenza interamente danneggiata necessita di più iterazioni affinché venga completamente restaurata. In particolare, nelle iterazioni successive alla prima si verifica sempre l'ipotesi del caso 4 del paragrafo 4.4, ovvero di entrambi i campi danneggiati. Pertanto, ad ogni iterazione vengono corretti solo il primo e l'ultimo quadro della sequenza danneggiata, come indicato in Fig.4.10.

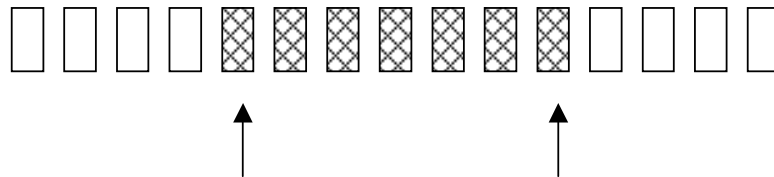


Fig.4.10: Con le due frecce sono indicati i due quadri corretti da ciascuna iterazione.

Il caso di una lunga serie di quadri completamente danneggiati richiederebbe numerose iterazioni. Per ovviare a questo inconveniente viene prevista, oltre alla prima, una sola iterazione seguente. Nella prima iterazione l'algoritmo di restauro memorizza lo stato di tutti i campi/quadri. La seconda iterazione prevede la semplice sostituzione di tutti i quadri danneggiati rimasti, come rappresentato in Fig.4.11.

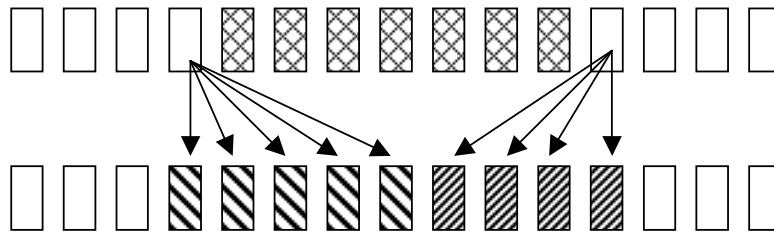


Fig.4.11: La creazione dei due fermi immagine.

In Fig.4.11 la prima sequenza è ottenuta dalla prima iterazione. Supponiamo tale sequenza $Q(\bar{x}, n)$ di quadri contenga m quadri danneggiati, d'indice $i \in [n+1, n+m]$. La seconda sequenza è ottenuta dalla seconda iterazione, che sostituisce la prima metà ($m/2$ se m è pari, $(m+1)/2$ se m è dispari) di quadri con l'ultimo quadro integro che precede la sequenza danneggiata, e la seconda metà di quadri con il primo quadro integro che segue la sequenza danneggiata, come indicato dalla (4.15). Complessivamente, la sequenza danneggiata viene corretta eliminando i campi e introducendo due fermi immagine, che comunque risultano più piacevoli della versione originale.

$$Q_{\text{int}}(\bar{x}, n+i) = \quad (4.15)$$

4.5.1 Discussione delle alternative

Per la seconda iterazione esistono delle alternative riguardanti la creazione del fermo immagine di (4.15). Invece di utilizzare il metodo prima esposto, si potrebbe per esempio sostituire tutta la sequenza danneggiata con l'ultimo quadro integro che precede tale sequenza [...]

4.6 Dettagli implementativi

Durante l'elaborazione video, i quadri vengono uno ad uno estratti dalla stringa del filmato, elaborati e memorizzati su disco.

4.7 Esempi di sostituzione dei campi

Vengono riportati in questo paragrafo alcuni esempi di funzionamento del metodo di sostituzione dei campi. [...]

4.8 Dissolvenza

Nei filmati restaurati, il passaggio tra i due fermi immagine (paragrafo 4.5) può risultare alquanto brusco. Utilizzando la dissolvenza si introduce un passaggio graduale da un fermo immagine al successivo.

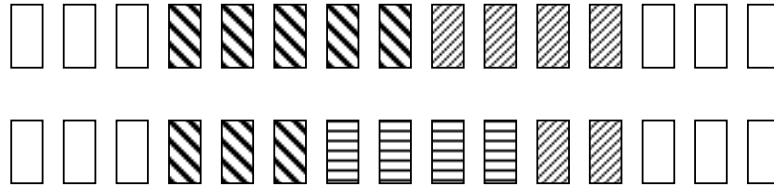


Fig.4.12: Con il motivo orizzontale vengono indicati i quadri su cui agisce la dissolvenza.

La dissolvenza consiste in un'interpolazione delle immagini. In particolare viene presentato un metodo di interpolazione lineare non compensato nel movimento. Nel paragrafo 4.9 saranno invece presentati dei metodi di interpolazione con compensazione del movimento. Date due immagini $I(\bar{x})$ e $II(\bar{x})$, può essere creata una serie di immagini $III(\bar{x}, i)$ mediante una combinazione lineare come indicato nella equazione:

$$III(\bar{x}, i) = \alpha(i) I(\bar{x}) + (1 - \alpha(i)) II(\bar{x}) \quad (4.17)$$

dove il parametro α varia gradualmente, assumendo valori crescenti da 0 a 1:

$$\alpha(i) = \frac{i}{N} \quad (4.18)$$

dove N è il numero di fotogrammi da dissolvere.

Nei due casi estremi si ha che:

$$\begin{aligned} i = 1 &\rightarrow III(\bar{x}, i) \cong I(\bar{x}) \\ i = N &\rightarrow III(\bar{x}, i) \cong II(\bar{x}) \end{aligned} \quad (4.19)$$

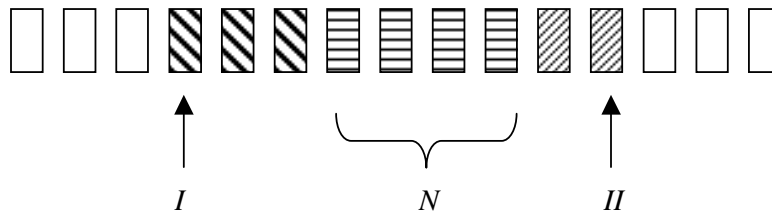


Fig.4.13: La dissolvenza.

Nonostante l'utilizzo della dissolvenza, il filmato restaurato risulta comunque poco piacevole all'osservatore. I fermi immagine introdotti, infatti, implicano la perdita di fotogrammi originali. Se questo avviene nel caso di scene ricche di movimento, i fermi immagine introducono un'irregolarità (o un arresto) percepibile nella scena. Questa non uniformità di velocità di scena è risultata evidente e fastidiosa nei filmati di prova restaurati.

4.9 La conversione della cadenza di quadro

Vengono forniti in questo paragrafo dei cenni sulla teoria di conversione della frequenza di ripetizione dei quadri, tratta da [43], in quanto può essere applicata nella ricostruzione delle sequenze totalmente danneggiate (paragrafo 4.5).

La conversione della cadenza di quadro ha come obiettivo l'aumento del numero di quadri nell'unità di tempo [...]