



Canon Rebel XT modificata permanentemente per foto IR. Stitched panorama, 260Mpixel

## Fotografia digitale all'infrarosso

### Prima parte

**Marco Annaratone**

Email: [RLph3oto@res3onantlink.com](mailto:RLph3oto@res3onantlink.com)

**Claudio Ruscello**

Email: [IR3vision@li3bero.it](mailto:IR3vision@li3bero.it)

Per contattare uno degli autori via email togliete prima i due 'tre' presenti in entrambi gli indirizzi sopra.

### PERCHE` FOTOGRAFARE IN INFRAROSSO ?

La fotografia di questo tipo apre una dimensione nuova, un modo di vedere inconsueto rispetto a quanto siamo abituati. Lo spettro della radiazione luminosa è molto più ampio di quello che l'occhio umano può percepire, e fino all'avvento dei sensori CCD l'unico modo possibile per poter 'vedere' cosa c'era oltre allo spettro del visibile era utilizzare delle pellicole speciali in grado di rendere visibile anche l'invisibile.

Il grosso vantaggio dato da questo tipo di ripresa è di poter realizzare degli scatti anche in condizioni di foschia, perché la radiazione infrarossa la attraversa senza grossi problemi permettendoci di ottenere una visibilità ed una nitidezza non sempre disponibile nella fotografia classica sia a causa delle condizioni meteorologiche sia a causa del continuo aumento dell'inquinamento atmosferico.



Canon Rebel XT modificata permanentemente per foto IR. Falsi colori. Stitched panorama, 490 Mpixel

Se effettuiamo la ripresa su pellicola BN-IR, allora otteniamo un'immagine in bianco e nero, mentre se utilizziamo una fotocamera digitale otterremo una ripresa in falso colore che potrà essere trattata e trasformata a nostro piacere (vedi sopra). Quando la pellicola era più diffusa esistevano anche delle emulsioni IR a colori.

Per apprezzare pienamente la magia di uno scatto IR bisogna però far sì che la fotografia sia realizzata usando solo la porzione di luce relativa a questa lunghezza d'onda e per far questo dobbiamo eliminare tutta la luce *visibile* utilizzando un filtro, che nel nostro caso anziché essere del classico colore rosso, arancio o giallo al nostro occhio apparirà completamente *nero*.

Quasi tutte le principali ditte produttrici di filtri fotografici ne hanno a catalogo almeno uno, ma data la sua specificità non sempre quando ci rivolgiamo al nostro negoziante di fiducia abbiamo una grossa scelta, e da un breve sondaggio quello con migliore reperibilità risulta essere il filtro HOYA R72. Questo filtro è del tipo passa-alto e cioè elimina tutto quello che è sotto ad una certa lunghezza d'onda, per cui non saremo più in grado di vedere tutto quello che c'è sotto il rosso (~700nm).

Nella pagina seguente è proposta la stessa scena inquadrata proposta in tre modalità diverse di ripresa: a colori, B/N e B/N IR.

Per la realizzazione di questi scatti è stata utilizzata una fotocamera digitale Nikon E5000 non modificata e per gli scatti in IR è stato utilizzato un filtro Hoya montato tramite adattatore.

Notare nelle immagini proposte, oltre all'evidente effetto sul fogliame delle piante in primo piano, la quasi totale scomparsa della foschia rispetto alle immagini in luce visibile che rende chiaramente identificabile la catena montuosa all'estrema sinistra.



*Fotografia a colori (con spettro emissione luce visibile)*



*Fotografia in bianco e nero (con spettro emissione luce visibile)*



*Fotografia in bianco e nero IR con filtro Hoya R72 (con spettro emissione luce IR)*

## **INFRAROSSO IN ANALOGICO**

Utilizzando una fotocamera a pellicola l'unico modo per realizzare delle riprese in infrarosso e' quello di comprare un rullino di Kodak HIE Infrared o di MACO IR820C (ora Rollei 820c), caricarlo nella fotocamera e, *dopo aver stabilito il tempo di esposizione*, effettuare lo scatto. L'unica cosa alla quale bisogna prestare di attenzione e' che la propria fotocamera abbia il contatore delle perforazioni della pellicola realizzato con il classico ingranaggio meccanico, perche' se e' stato realizzato con un sensore a luce infrarossa in corrispondenza della sua posizione avremo quasi sicuramente una parziale velatura del fotogramma.



*La pellicola Maco 820c, ora Rollei IR820c*

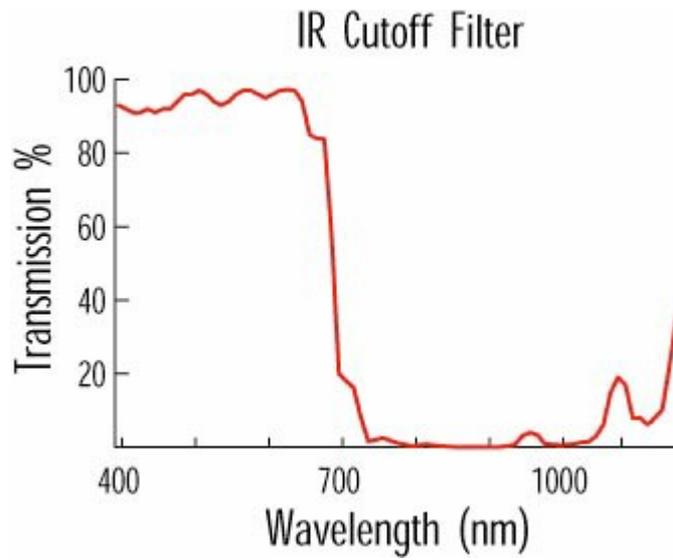
Uno degli autori di questo articolo ha fotografato per anni con la Maco 820c con grande soddisfazione. Questo all'interno dei vincoli creati da questo tipo di fotografia analogica, cioè esposizioni anche di 1 secondo in giornata con pieno sole. Il cavalletto era perciò d'obbligo. Per quanto riguarda lo sviluppo della pellicola, sono stati ottenuti ottimi risultati con abbondante prelavaggio e sviluppo con Xtol 1:2 per circa 13 minuti a 20°C.

La pellicola Maco 820c, come implica il nome, mantiene una sensibilità accettabile fino attorno agli 820nm, oltre i quali precipita abbastanza velocemente. E' quindi una pellicola piu' propriamente per infrarosso / rosso profondo, ed infatti non funziona correttamente quando esposta con i classici filtri all'infrarosso (neri ai nostri occhi) che tagliano tutte le lunghezze d'onda inferiori ai 900nm: il risultato con la Maco usando questi filtri sono fotogrammi completamente neri: dove la pellicola era sensibile (sotto gli 820nm) il filtro IR bloccava l'arrivo della radiazione luminosa, dove il filtro permetteva alla radiazione di passare (sopra i 900nm) la pellicola non rispondeva piu'. Bisogna invece usare con questa pellicola dei filtri rosso scurissimo come il B&W 89B (092).

## **INFRAROSSO IN DIGITALE**

Disponendo di una fotocamera digitale non dovremo preoccuparci del problema pellicola e del suo sviluppo e potremo dedicarci pienamente alla ripresa.

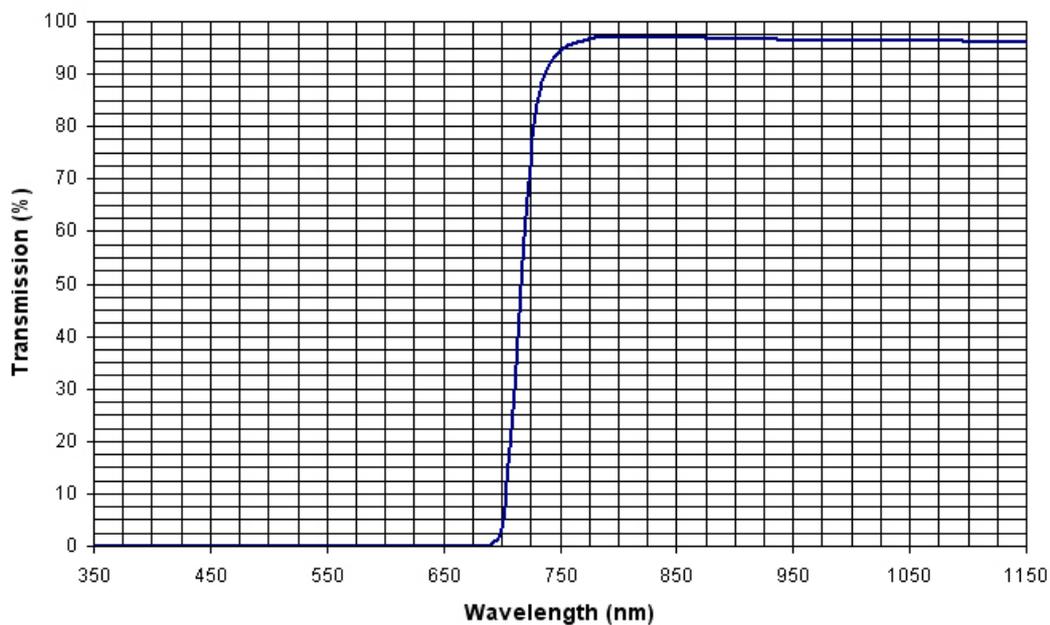
Il sensore delle macchine fotografiche digitali e' molto sensibile alla luce infrarossa, tanto che i produttori mettono immediatamente davanti al sensore un filtro speciale chiamato hot-mirror/IR-cutoff per evitare che l'immagine fotografata perda nitidezza a causa della differenza di piani di messa a fuoco. L'introduzione di questo filtro lascia passare tutto lo spettro della luce visibile e taglia drasticamente tutto quello che e' oltre il rosso profondo.



*Esempio della curva caratteristica di un filtro IR-cutoff generico: si noti la forte attenuazione tra i 700nm ed i 1100 nm.*



*Il filtro utilizzato per le prove: Hoya R72*



Nella dicitura del filtro (R72) possiamo leggere che questo filtro lascia passare tutte le radiazioni a partire dalla gamma dell'infrarosso vicino (720nm), eliminando completamente tutto lo spettro della luce visibile e dell'ultravioletto.

Ottimi filtri IR sono anche quelli B&W (di più complessa reperibilità in Italia), in particolare il modello 87C (093). In questo filtro passa solo l'1% della luce fino a 800nm, mentre a 900nm l'88% della stessa viene trasmesso. E' quindi un filtro con un taglio molto accentuato, più specialistico verso l'infrarosso del filtro Hoya. Ed infatti come detto sopra era sconsigliato per l'uso con pellicole IR come la Maco 820c (ora Rollei) dove si usava obbligatoriamente il meno aggressivo 89B (092), più simile come trasmissione allo Hoya discusso sopra.

## **L' INQUADRATURA**

Quando ci accingiamo a fotografare con una fotocamera di tipo TTL (a pellicola o digitale) il primo problema che dovremo risolvere sarà quello di vedere la scena inquadrata perché, come abbiamo appena spiegato, per realizzare uno scatto 'IR' bisogna 'bloccare' tutto quello che normalmente vediamo. L'unica alternativa che abbiamo se stiamo utilizzando una reflex e' quella di dotarci di un mirino esterno o di rimuovere ogni volta il filtro IR: efficace ma a lungo andare si rivela piuttosto scomodo.

Per questo tipo di applicazione si rivelavano ottime le vecchie fotocamere biottiche come la Rolleiflex, quelle a telemetro tipo la Leica nel piccolo formato, o Fuji o Mamiya nel medio formato (6x9 o 6x4.5 la prima, 6x7 la seconda), oppure le compatte digitali che affiancano un blando mirino ottico all'ottica da ripresa.



*Nikon FM con il filtro Hoya R72 montato sull'obbiettivo*



*Mirino aggiuntivo da montare sulla slitta flash per facilitare l'inquadratura quando sull'ottica e' presente il filtro IR*



*Compatta digitale: in alto a destra c'è il mirino ottico che permette di trapiandare la scena inquadrata anche se, come nel nostro caso, davanti all'ottica abbiamo montato il filtro IR*

## **L' ESPOSIZIONE**

I sensori esposimetrici delle fotocamere non sono progettati e tarati per fornire delle letture corrette anche al di fuori dell'intervallo di luce visibile, per cui bisognerà fare un po' di prove per capire se la loro curva di risposta e quella del sensore CCD (o pellicola) corrispondono. Una pratica abbastanza diffusa in questi casi e' quella del 'bracketing' o 'esposizioni a forcella', dove si esegue lo stesso scatto con delle sovra/sotto esposizioni volute in modo da poter scegliere a posteriori il risultato migliore.

Il digitale semplifica questa operazione perche' dopo lo scatto noi potremo visualizzare sulla fotocamera l'istogramma della ripresa effettuata valutando la correzione migliore da applicare.

Altro fattore da tenere in considerazione e' che normalmente i tempi di esposizione per uno scatto in luce infrarossa sono sempre piu` lunghi di 1/4 di secondo, rendendo il cavalletto uno strumento indispensabile pena uno scatto completamente mosso ed inutilizzabile. Data la necessita' di usare tempi lunghi, questo riduce i soggetti fotografabili in luce infrarossa a quelli prevalentemente statici (a meno di non usare il mosso per scopi pittorici, ovviamente). Come vedremo nel seguito pero' la combinazione di sensori digitali alquanto sensibili alla radiazione IR piu' modifiche applicate alla macchina fotografica digitale hanno eliminato questo vincolo: e' possibile oggi fotografare in digitale ed in infrarosso con tempi anche di 1/250 di secondo. Questo amplia notevolmente il campo di applicabilita' di questa tecnica.

## **INFRAROSSO DIGITALE CON FILTRO IR ESTERNO: SVANTAGGI**

In questo caso la macchina non subisce alcuna modifica e si applica molto semplicemente un filtro IR davanti all'obiettivo. Nonostante la presenza dell'hot-mirror davanti al sensore una piccolissima parte di radiazione IR raggiunge comunque il sensore e quindi si puo' fare della fotografia IR. Dato che la macchina non e' stata modificata puo' sempre fotografare in luce visibile. Il problema con questo approccio e' che proprio a causa del filtro hot-mirror il tempo di esposizione si allunga enormemente e per esempio passa da 1/250s a 1/2s !!<sup>1</sup> La differenza e' chiara: in un caso puoi scattare a mano libera mentre nell'altro e' obbligatorio l'uso del cavalletto. Questo sarebbe accettabile sotto un certo punto di vista in quanto anche nella fotografia analogica ci si e' abituati a tempi lunghi. Il problema molto grave nel caso del digitale e' che questi tempi lunghi provocano un sensibile aumento del rumore, con relativa creazione di grana inaccettabile sul fotogramma. Mentre quindi nel caso della fotografia analogica si era costretti ad usare tempi lunghi ma i negativi venivano molto puliti, nel caso del digitale la presenza dell' hot-mirror ha come conseguenza tempi lunghi (anche 30 secondi in giornata luminosa!) ed aggiunge inoltre del rumore digitale peggiorando la qualita' dell'immagine.

La presenza di questo filtro e' anche la causa di un fenomeno di riflessione interna che e' noto come *hot-spot*. Questo si presenta come un area di forma vagamente circolare situata al centro del fotogramma che e' fastidiosissimo, non controllabile in fase di ripresa, ed estremamente difficile da rimuovere in Photoshop successivamente.



*Problema di hot-spot con la Nikon Coolpix E5000 e filtro esterno Hoya R72 (AF Auto t:1/2s f:4,5 400iso Zoom 21,4mm 16/7/06 h15:30)*

<sup>1</sup> Con macchine come la Canon 1DsMkII che hanno un filtro hot-mirror particolarmente potente i tempi di esposizione si prolungano enormemente, raggiungendo spesso i 20-30 secondi.



*Problema di hot-spot con Canon 1DsMkII con filtro IR B&W. Obiettivo Nikon 55mm. Stesso fenomeno si ha con zoom Canon 16-35mm USM L e molte altre lenti della serie L.*

Prendendo ad esempio il caso descritto, abbiamo riscontrato che con la Nikon E5000 il fenomeno degli hot-spots diventa più visibile con lo zoom in posizione 21mm (massima estensione), con diaframmi molto chiusi o in situazioni di forte irradiazione IR. Disponendo di una fotocamera digitale modificata i tempi di esposizione si accorceranno notevolmente perché la sensibilità aumenta di circa 8EV portandoci da tempi di scatto dell'ordine del 1/2s a tempi di 1/250s con innegabili vantaggi anche per questo fastidioso fenomeno.

Nel caso della Canon 1DsMkII il fenomeno degli hot-spots varia con l'obiettivo ma anche, a parità di obiettivo, con l'orientamento della luce e la quantità di radiazione infrarossa presente nell'immagine. E' quindi di difficile (se non impossibile) controllabilità. Ci sono un certo numero di regole empiriche che si possono seguire, però:

1. Obiettivi a focale fissa sono da preferire ad obiettivi zoom.
2. Obiettivi poco luminosi sono da preferire ad obiettivi più luminosi.
3. Obiettivi con il segno rosso sul barilotto che indica che la lente è usabile nella banda infrarossa danno più garanzie (ma nessuna certezza assoluta, in quanto abbiamo trovato esempi del contrario) di essere più immuni al fenomeno degli hot-spots.

## LA MESSA A FUOCO

### Spiegazione semplificata

La luce infrarossa mette a fuoco su un piano leggermente deviato rispetto a quello della luce visibile, per cui dopo aver messo a fuoco come di consueto dovremo effettuare una correzione.

Le ottiche migliori hanno un punto rosso od un simbolo romboidale in prossimità del riferimento per la messa a fuoco: questa è la 'correzione di rotazione' della ghiera di messa a fuoco per avere a fuoco un soggetto che riflette una radiazione infrarossa. Per mettere a fuoco correttamente un panorama (fuoco ad infinito) dovremo far corrispondere il simbolo  $\infty$  NON con la riga centrale di messa a fuoco ma con il puntino (rosso o bianco) posto a fianco ad essa.

In questi casi anche se l'ottica non è stata disegnata specificatamente per l'uso in IR e' stata certificata anche per avere una buona riproduzione nell'infrarosso. La correzione della messa a fuoco per l'infrarosso non è una costante valida per tutte le lenti ma varia da lente a lente in base disegno ottico specifico.

In caso di **AUTOFOCUS**, per le ragioni spiegate più avanti nella parte approfondita sulla messa a fuoco, non sempre l'AF sarà in grado di lavorare in modo corretto anche se abbiamo visto che nella maggioranza dei casi si ottengono discreti risultati.

### Spiegazione approfondita

Quello della messa a fuoco è il problema più grande nella fotografia ad infrarossi anche perché è quello sul quale si introducono una serie di variabili che non sempre è facile analizzare. In quello che segue cercheremo di introdurre i concetti base in modo semplificato, chiedendo preventivamente scusa agli esperti di ottica.

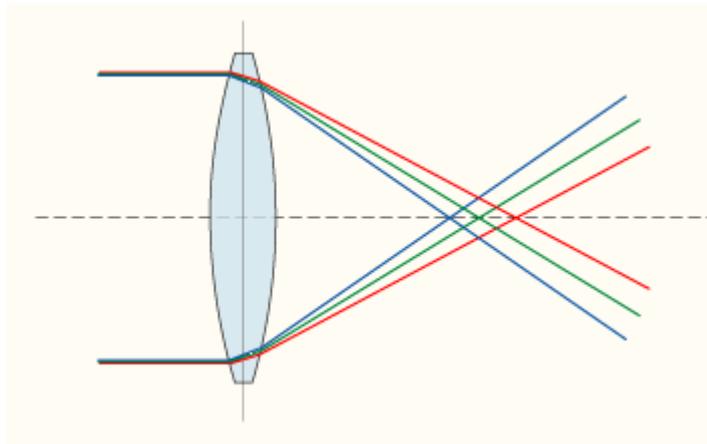
La luce visibile è composta da un'interminabile sfumatura di colori che vanno dal violetto al rosso. Per poter rappresentare il fenomeni che si incontrano quando un raggio di luce attraversa una lente, per semplicità prenderemo in considerazione i tre colori che permettono di suddividere lo spettro della luce visibile in tre zone: BLU, VERDE, ROSSO.



Il VERDE è situato circa al centro della gamma, mentre il BLU ed il ROSSO rappresentano rispettivamente il limite inferiore e superiore. Dopo il BLU abbiamo il viola e l'ultravioletto mentre dopo il ROSSO abbiamo l'infrarosso.

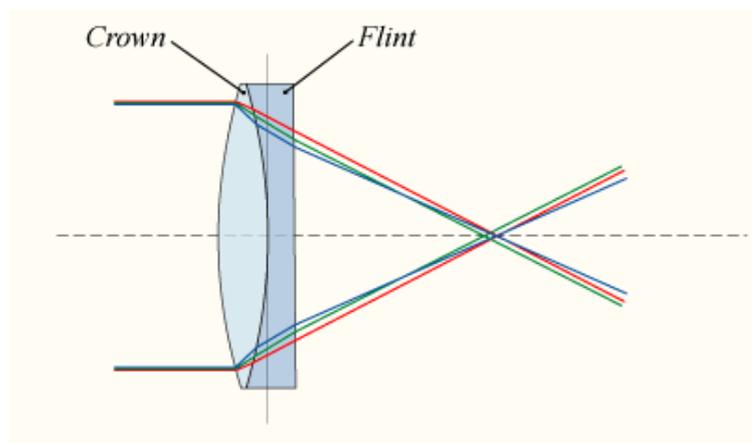
Quando un raggio di luce attraversa una lente è soggetto ad un fenomeno chiamato *aberrazione cromatica assiale* che in pratica è una deviazione di una porzione del raggio di luce in modo diverso a seconda del suo colore.

Se questo difetto non è opportunamente corretto allora si introducono dei problemi di messa a fuoco perché, posto che il verde sia messo a fuoco sul piano corretto, avremo il blu che mette a fuoco su un piano più vicino alla lente ed un rosso su un piano più distante.



*Fenomeno di aberrazione cromatica assiale*

Quando si progettano delle ottiche per la fotografia vengono presi in considerazione tutti questi fattori e, visto che lo scopo principale di un obiettivo e' quello di permetterci una messa a fuoco corretta, si effettuano opportune correzioni per fare in modo che il BLU, il VERDE ed il ROSSO focheggino *esattamente sullo stesso piano*.



*Correzione dell'aberrazione cromatica assiale tramite doppietto acromatico*

Per non incidere inutilmente sui costi e non complicare la realizzazione durante la fase di progettazione di un' ottica si effettuano le opportune correzioni unicamente per lo spettro di luce interessato che normalmente corrisponde a quello visibile.

Esistono comunque anche degli obiettivi espressamente progettati per la ripresa nel campo degli ultravioletti (UV-Nikkor 105mm f/4.5) o degli infrarossi, ma la loro resa al di fuori della loro gamma e' fortemente penalizzata.

Per capire come variano le aberrazioni cromatiche in base alla porzione di radiazione luminosa, tipologia di vetro utilizzato e angolo di incidenza, suggerisco di dare un'occhiata all'ottima ed esaustiva dimostrazione interattiva a questo indirizzo:

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/refraction/refractionangles/index.html>

Esiste anche una seconda aberrazione cromatica, quella *laterale*, che prende il nome dal fatto che avviene al di fuori dall'asse ottico, il cui risultato e' quello di modificare le dimensioni relative dell'oggetto fotografato. La trattazione e' alquanto complessa ma anche questa aberrazione cromatica e' direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda, e quindi piu' facilmente si presenta quando si fotografa in IR se la lente, come e' in pratica il caso, non e' stata opportunamente corretta anche in questo intervallo di frequenze (in pratica la correzione della aberrazione cromatica laterale e' alquanto complessa anche in luce visibile).

## **L'ALTERNATIVA: MODIFICARE LA FOTOCAMERA PER L' IR**

La rimozione dell' hot-mirror implica la scelta del filtro da mettere in sostituzione. Ad esempio per impieghi astronomici si sostituisce il filtro interno con un filtro neutro che permette di poter effettuare riprese della volta celeste con risultati a dir poco sorprendenti. Questa necessita` e' data dal fatto che si vogliono poter effettuare riprese di una piccola porzione dello spettro tramite l'utilizzo di filtri specifici (H-alpha) per poi fare la sovrapposizione delle singole immagini. In altre parole, si `apre` il sensore a ricevere un grandissimo spettro di luce (dal lieve ultravioletto al profondo infrarosso) e poi si limita drasticamente la banda con un filtro apposito.

Per avere un esempio di come si trasformi la volta celeste in queste lunghezze d'onda suggeriamo una lettura approfondita dell'articolo "Near, Mid & Far Infrared" che troverete a questo indirizzo:

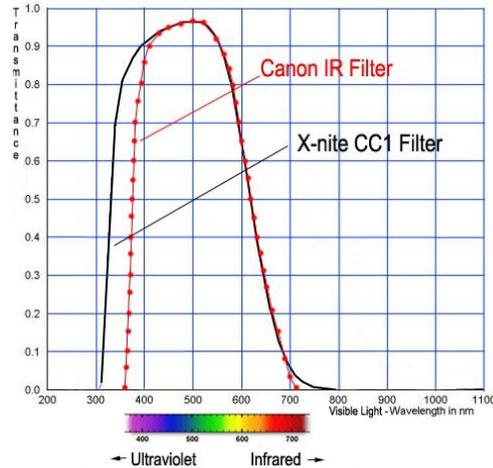
<http://www.ipac.caltech.edu/Outreach/Edu/Regions/irregions.html>

Un'eccellente tutorial sulla fotografia astronomica in infrarosso potra` essere reperito a questo indirizzo:

[http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/ir\\_tutorial/](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ir_tutorial/)

E' quindi anche possibile rimuovere l' hot-mirror e aggiungere un vetro otticamente trasparente davanti al sensore. In questo caso la macchina mantiene la capacita' di fotografare in luce visibile. Gli svantaggi di questa soluzione sono pero' non trascurabili:

1. Quando si fotografa in luce visibile e' necessario mettere un filtro (trasparente) davanti all'obiettivo che tagli le componenti di infrarosso in modo che non giungano al sensore. In pratica si duplica la funzione dell' hot-mirror che e' stato rimosso. Questo filtro va acquistato, non e' di facilissima reperibilita', ed e' comunque un costo aggiuntivo. Come alternativa al filtro si potrebbe eseguire la profilazione dei colori della fotocamera in modo da riportarli ai valori corretti.
2. Quando si fotografa in IR e' necessario porre un filtro IR tipo Hoya 72 o B&W 89C davanti all'obiettivo. Questo rende impossibile l'inquadratura e la messa a fuoco attraverso il mirino reflex che a questo punto e' completamente oscurato.

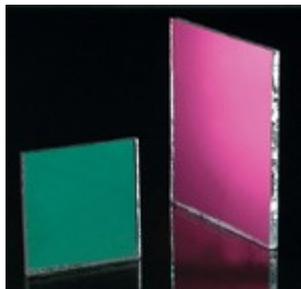


Curva caratteristica di un filtro da usare in sostituzione nel caso della  
 modifica di rimozione del filtro interno IR-cutoff hot-mirror con filtro  
 neutro

(reperibile presso

<http://maxmax.com/aXRay58mmFilters.asp>)

Quello che abbiamo realizzato nel nostro caso e' stato *specializzare* la fotocamera per le riprese all'infrarosso, rimuovendo il filtro al niobato di litio (hot-mirror IR-cutoff) e sostituendolo con un filtro IR passa-alto che sostanzialmente lascia passare dai 1000nm fino ad oltre i 1300nm dove comunque anche la risposta del CCD inizia ad attenuarsi. In questo modo la macchina e' in grado di vedere tutta quella gamma di radiazioni luminose invisibili all'occhio umano che stanno nella gamma dell' *infrarosso vicino* (near infrared, NIR).



Esempio di filtro IRCutoff

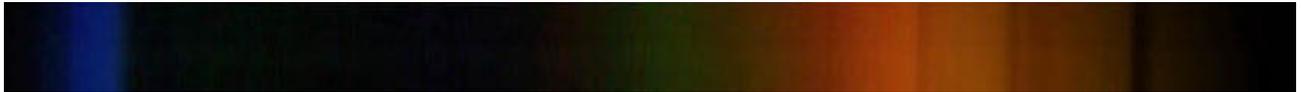
Il vantaggio di questa soluzione e' che ora non e' piu` necessario utilizzare un filtro davanti all'obiettivo e quindi la scena inquadrata e' nuovamente disponibile attraverso il mirino perche` il filtro e' posizionato direttamente davanti al sensore. A questo punto tutto il procedimento di composizione della foto o della sostituzione delle ottiche e' notevolmente facilitato.



Sensibilita` spettrale della Canon 350D con il filtro IR-Cut (Author: Chris Buil)



*Sensibilità spettrale della Canon 350D senza il filtro IR-Cut (Author: Chris Buil)*



*Effettuando la differenza delle due immagini precedenti possiamo evidenziare il notevole aumento della sensibilità nella zona dell'ultravioletto e dell'infrarosso.*

Inoltre prove condotte da Terry Lovejoy mostrano che, quando la rimozione del filtro hot-mirror/IR-cutoff corrisponde anche a quella del filtro anti-aliasing, il fenomeno del *moire* diventa più evidente, ma se noi a questo punto sottoponiamo l'immagine ottenuta ad un blando filtro di *gaussian blur* per rimuovere il *moire* e poi applichiamo ad essa una *maschera di unsharp* il risultato finale è nettamente più definito rispetto all'immagine ottenuta dalla fotocamera non modificata.

## IN COSA CONSISTE LA MODIFICA PER L'IR?

### **IMPORTANTE:**

**Smontare la fotocamera fa decadere la garanzia del produttore.**

**Chi volesse effettuare questa modifica lo fa a proprio rischio e pericolo liberando gli autori di questo articolo da ogni responsabilità.**

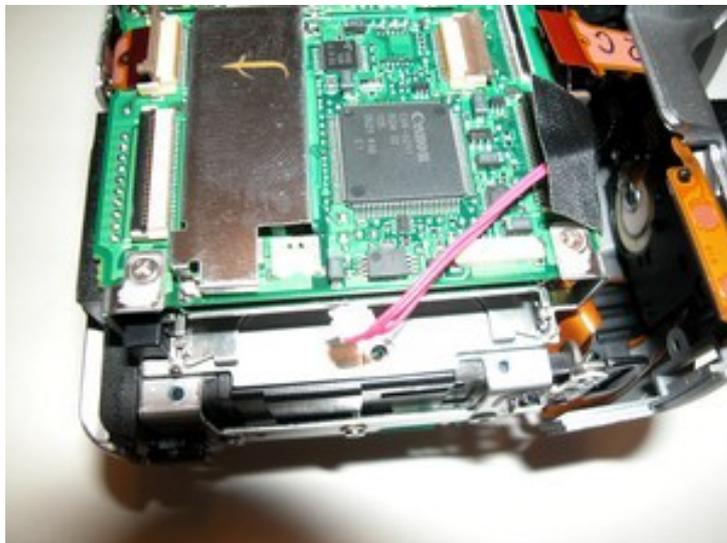
Quella che segue è una descrizione di massima della procedura da effettuare. Lo scopo principale di questo articolo non è quello di descrivere minuziosamente tutti i passi da compiere per effettuare la modifica IR, ma quello di fornire un'informazione sul lavoro svolto per ottenere il risultato finale. Proprio per generalizzare l'operazione ed estenderla in tutto il campo della fotografia abbiamo utilizzato fotocamere diverse ed obiettivi diversi per ottenere un risultato comune.

La modifica in sé è piuttosto semplice:

- rileggere la nota scritta sopra !!!
- smontare la macchina
- togliere ghiere, pulsantini, molle etc.
- dissaldare le schermature che nascondono i punti dove dobbiamo intervenire
- staccare tutti i cablaggi elettrici
- separare i circuiti stampati
- smontare il sensore CCD
- togliere il filtro davanti al CCD (quello che si pulisce quando ci sono i pelucchi nelle foto)
- rimuovere le guarnizioni
- sostituire il filtro ir-cut con il filtro IR (nel caso si voglia solo l'IR)
- correzione del tiraggio del piano focale
- riassetto di tutte le parti ripercorrendo tutti i passi tutto in senso opposto
- accensione fotocamera

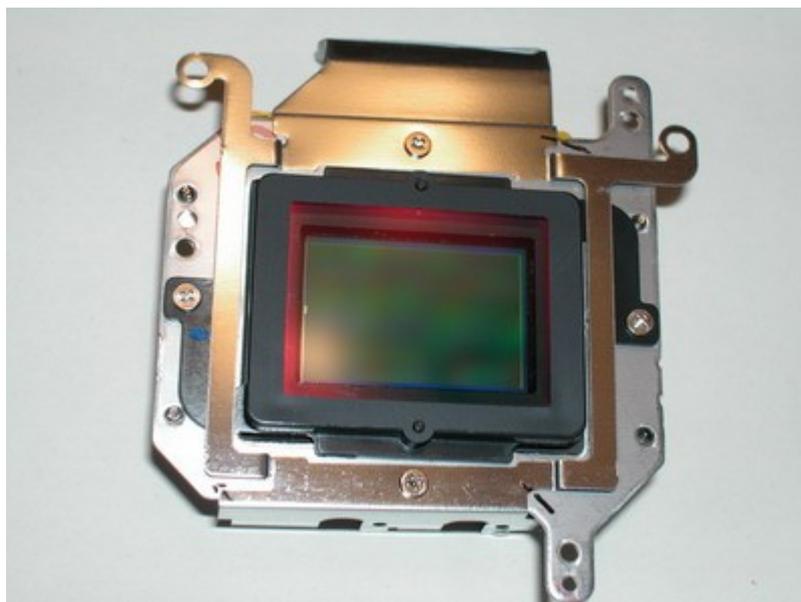
È inoltre importantissimo ricordare che all'interno della fotocamera ci sono circuiti sensibilissimi all'elettricità statica che possono essere danneggiati con estrema facilità. In alcuni casi è richiesta la rimozione di schermature e bisogna operare con il saldatore su punti molto delicati, per cui il nostro consiglio è di utilizzare strumenti professionali tipo la stazione di saldatura Weller Antistatic con lo stilo ad ago da 25W e bracciale antistatico.

Non sono operazioni particolarmente complicate, ma richiedono una discreta manualita` e soprattutto mano ferma per non strappare i fili dai connettori o peggio ancora danneggiare irreparabilmente i minuscoli PCB.



*Fase di disassemblaggio della fotocamera*

La parte di disassemblaggio del sensore richiede un po' di cura ed un ambiente a bassissimo (pressochè` nullo) tenore di polvere perche` se oltre alla rimozione del filtro hot-mirror si vuole anche posizionare un filtro davanti al sensore (il nostro caso) bisogna fare in modo che non si depositi polvere in un posto che non si potrà pulire se non smontando di nuovo tutto!



*Il sensore della Canon 350D con il filtro originale*

Ogni modello di fotocamera e' un mondo a se, ma in linea di massima questo tipo di modifica e` applicabile al 90% delle fotocamere digitali presenti sul mercato. I casi in cui

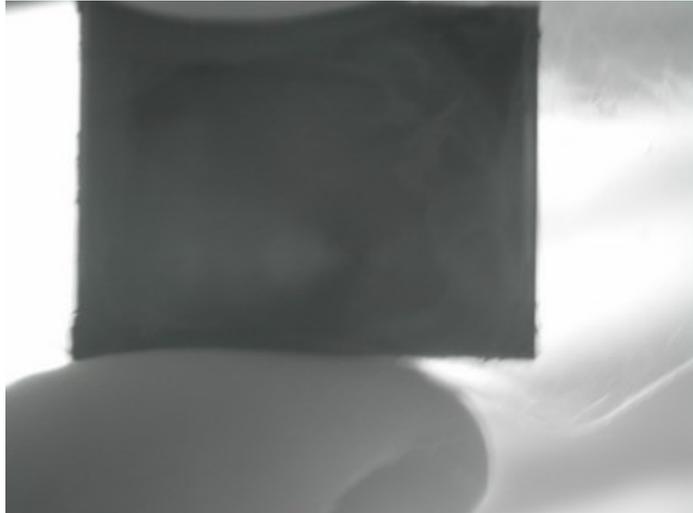
non e' possibile effettuare la modifica sono quelli in cui il filtro hot-mirror e' solidale con il sensore e non c'e` modo di rimuoverlo in modo non distruttivo.



*Confronto in luce visibile tra il filtro per infrarossi ed il filtro Canon. Notare la differenza in spessore dei due filtri. Per avere una corretta messa a fuoco queste differenze devono essere tenute in considerazione e bisogna ricalcolare quale sara` il nuovo piano focale.  
Canon EOS 350D (Formato: 26,9 x 19,5 x 2,7 mm)*



*Il filtro originale e' stato rimosso dalla sua sede naturale ed e' stato sostituito con il filtro IR.*



*Il vecchio filtro hot-mirror IR-cutoff visto agli infrarossi appare completamente nero.*

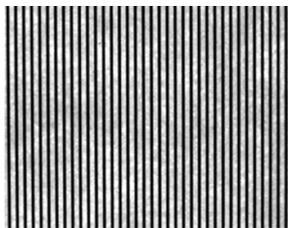
## **IL MISTERO DELL'AF (DIPENDE .... TUTTO DIPENDE)**

Il vero regno dell'indeterminatezza e' quello dell'autofocus. Chi come noi aveva gia` avuto dei dubbi sul comportamento dell'AF in luce visibile ora ne ha la certezza: l'AF non e' un sistema infallibile ... anzi.

Per poter interpretare in modo corretto le tabelle che seguiranno e le problematiche connesse con la messa a fuoco, e' necessario introdurre i concetti di *profondita' di campo* e di *circolo di confusione*. Chi fosse gia` a conoscenza di questi concetti puo` saltare questa parte e passare direttamente al capitolo RICALIBRAZIONE.

Il *circolo di confusione* è definito come il più piccolo cerchio che l'occhio umano riesce a distinguere come un puntino visto ad una determinata distanza, detto in altre parole e' quella percentuale di sfocatura che il nostro occhio non e' in grado di rilevare per cui anziche` un cerchio noi vediamo un puntino.

Prendendo come riferimento un occhio normale, si e' rilevato che e' in grado di distinguere 5 coppie di linee per millimetro osservando un negativo di 20x25cm alla distanza di 25 centimetri.



*Una coppia di linee e' costituita da una riga nera e una riga bianca.*

**[ 5 coppie = 10 linee per millimetro x 25,4 (millimetri x pollice) = 254 lpi/dpi ]**

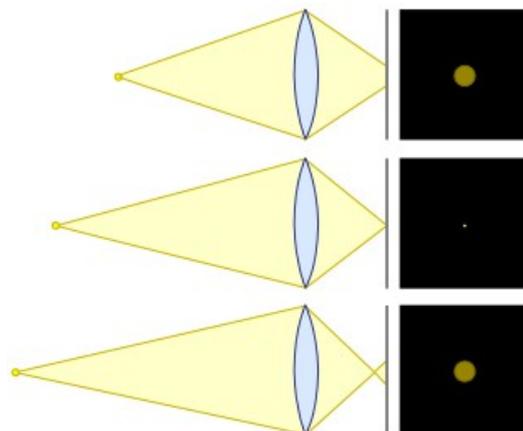
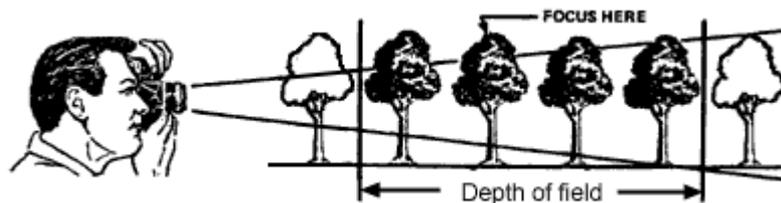
Il CdC e' uguale al reciproco della risoluzione dell'occhio e vale 0.2 per un negativo di 20x25cm ( $0,2=1/5$ ). Partendo da questo valore e' possibile ricavare il CdC per i formati inferiori effettuando una semplice proporzione.

Per ottenere il CdC delle fotocamere digitali basta dividere il CdC del formato 35mm per il fattore di moltiplicazione introdotto dalla piu` piccola dimensione del sensore.

Produttore/formato	Modello	CdC (mm)
Canon	300D, 350D, 400D (1,6x)	0.019
Canon	1Ds MarkII, 1DS, 5D (1x)	0.030
Nikon	Coolpix E5000 (3,9x)	0.008
Nikon	D1H, D2H, D50, D70, D100, D200 (1,5x)	0.020
APS		0.025
24x36mm		0.030
6x6cm		0.045
4x5"		0.100
8x10"		0.200

Tabelle del circolo di confusione per i piu` comuni formati e per alcune fotocamere digitali.

La *profondita` di campo* e` la zona che verra` percepita come `a fuoco` e generalmente si estende da 1/3 prima del punto di fuoco a 2/3 dopo. L`ampiezza di quest`area dipende dalla focale utilizzata, dalla distanza di ripresa, dal valore del circolo di confusione e dal diaframma utilizzato. Ricordatevi, non dipende invece dal formato della pellicola!



La *profondita` di campo* e` definita come la regione dove la dimensione del CdC e` inferiore alla capacita` di distinguerlo dell`occhio umano. Tutti i cerchi con diametro inferiore a quello del CdC ci appariranno come a fuoco. (Wikipedia)

La *distanza iperfocale* e` la distanza alla quale l`oggetto piu` vicino appare nitido quando una lente e` messa a fuoco all`infinito.

Quando una lente e' messa a fuoco alla sua distanza iperfocale, tutto quello che si trova dalla meta` della distanza iperfocale all'infinito avra` una nitidezza accettabile per la realizzazione di una fotografia.

	<b>Formula Normale</b>	<b>Formula Semplificata</b>
<b>Distanza Iperfocale:</b>	$H = \frac{f^2}{Nc} + f$	$H' = \frac{f^2}{Nc}$
<b>Minima distanza di nitidezza accettabile:</b>	$D_n = \frac{s(H - f)}{H + s - 2f}$	$D'_n = \frac{sH'}{H' + s}$
<b>Massima distanza di nitidezza accettabile:</b>	$D_f = \frac{s(H - f)}{H - s}$	$D'_f = \frac{sH'}{H' - s}$

<b>Dove:</b>	
H, H'	Distanza iperfocale, mm
f	Lunghezza focale della lente, mm
S	Distanza di messa a fuoco, mm
D <sub>n</sub> , D' <sub>n</sub>	Minima distanza con nitidezza accettabile
D <sub>f</sub> , D' <sub>f</sub>	Massima distanza con nitidezza accettabile
N	Valore del diaframma
c	Circolo di confusione, mm

#### Nota1:

Per ottenere dei risultati corretti e' importante che le unita` di misura adottate siano congruenti, per cui se si mette la focale espressa in mm allora anche tutti gli altri valori dovranno essere espressi in mm.

#### Nota2:

Quando la lunghezza focale e' molto piu' piccola rispetto alla distanza di messa a fuoco, allora e' possibile utilizzare la versione semplificata delle precedenti equazioni.

## **RICALIBRAZIONE**

Quello che nella descrizione delle modifiche sarà descritto come *taratura/ricalibrazione AF* in realtà si tratta di un ricalcolo del disegno ottico che e' costituito dalla sostituzione del filtro hot-mirror o della sua eventuale rimozione completa.

Detto in parole povere, tutti i filtri sono delle lenti ed ogni tipologia di vetro ha un proprio indice di rifrazione caratteristico che 'devia' il raggio di luce che lo attraversa. Questa deviazione e' data dall'indice tipico del materiale con cui e' realizzato e cosi` se un vetro ottico di tipo BK7 ha un valore di 1,517 altri materiali hanno costanti diverse in base alla loro formulazione.

Il filtro 'aggiuntivo' e' parte integrante del cammino ottico e gioca un ruolo importante al fine di proiettare l'immagine sul sensore esattamente a fuoco, e pochi decimi o centesimi di mm fanno gia` una bella differenza.



All'atto della modifica e' quindi indispensabile prendere in considerazione tutti questi fattori affinche` il risultato rispecchi le specifiche richieste e, ove possibile, bisogna mantenere e regolare il corretto posizionamento dei piani di messa a fuoco (MAF).

Nel caso di piccole discrepanze e' anche possibile effettuare una regolazione dell'AF del box specchio, ma quando e' possibile e' meglio far in modo che tutte le correzioni aggiuntive si bilancino automaticamente in modo da non dover fare regolazioni approssimate.

Per far questo e' necessario effettuare il calcolo della differenza del percorso ottico usando la seguente formula derivata dalle formule per il calcolo della distanza iperfocale:

$$\text{Compensazione} = (n - 1) / n * \text{DeltaSpessore}$$

Dove:

n	indice refrattivo (1.517 per vetro BK7)
DeltaSpessore	Differenza tra il filtro originale ed il filtro sostitutivo
Compensazione	Spostamento del piano di fuoco

Nel caso della modifica per l'infrarosso bisognera` quindi fare in modo che la luce visibile che percorre il tragitto fino al mirino ottico e la porzione infrarossa che andra` a focalizzarsi sul sensore, anche se differiscono a causa dei fenomeni di aberrazione cromatica della lente usata, siano opportunamente bilanciati.

Bisogna anche tener presente che ogni lente si comporta in modo diverso perche` anche se quelle valide sono state disegnate per avere una risposta apocromatica, nessuna di queste e' stata progettata per garantire l'apocromaticita` anche al di fuori dello spettro visibile, quindi ricordiamoci sempre che *stiamo lavorando fuori dalle specifiche e che dobbiamo accettare un minimo di indeterminatezza*. Apocromaticita` vuol dire che la lente e' disegnata per far si che, all'interno di un intervallo di lunghezze d'onda, queste mettano a fuoco esattamente sullo stesso piano (vedi aberrazione cromatica assiale). Ogni tipologia di lente ha un disegno ottico diverso e quindi risponde in modo diverso alla radiazione infrarossa.

La correzione della messa a fuoco per l'infrarosso, di cui abbiamo parlato nella parte riguardante la messa a fuoco, non e' una costante valida per tutte le lenti ma varia da lente a lente in base disegno ottico. Non dimenticate oltretutto che questa correzione (cioe' il puntino rosso) e' specifica per una determinato e ristretto intervallo di lunghezze d'onda IR, quindi e' sempre comunque buona norma fotografare con il diaframma un po' chiuso per sfruttare l'aumentata profondita' di campo.



*Ottica foccheggiata all'infinito in luce visibile  
(rif. punto nero)*



*Ottica foccheggiata all'infinito in luce IR  
(rif. punto rosso)*

## **Il problema della diffrazione**

Purtroppo chiudere il diaframma comporta una serie di problemi aggiuntivi se si fotografa in IR. E' ben noto a chi fotografa che chiudere il diaframma in modo sostanziale per aumentare la profondita' di campo risulta in un progressivo degrado della qualita' dell'immagine dato dal fenomeno della diffrazione, che e' proporzionale alla chiusura del diaframma (il numero  $f$ , in altre parole). Quello che e' meno noto e' che la diffrazione e' anche direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda. Cio' significa che quando operiamo negli infrarossi (che hanno lunghezza d'onda superiore a quella della luce visibile) siamo molto piu' a rischio per l'insorgere di fenomeni di diffrazione, e quindi chiudere il diaframma va fatto con ancora maggiore prudenza rispetto a quando si fotografa in luce visibile.

## **LA CORREZIONE IR**

Quando si effettua la correzione di messa a fuoco per l'infrarosso il gruppo ottico si sposta leggermente in avanti aumentando il tiraggio e comportandosi cioe' come se il soggetto fosse leggermente piu' vicino.

A titolo di pura curiosita' ci siamo messi su un piano di riscontro ed misurato con un comparatore (risoluzione 0.01mm) di quanto si spostava il barilotto delle lenti. Abbiamo effettuato le misurazione su ottiche che hanno un disegno semplice tipo i 50mm perche' diversamente in base al tipo di disegno (RF, IF etc.etc.) i vari gruppi di lenti si muovono internamente in modo da ottenere il risultato desiderato e questo tipo di misurazione perderebbe di significato.

I 50mm di casa Nikon hanno un unico blocco lenti che si muove in modo solidale e proprio per questo l'ho utilizzata come riferimento. Il 55micro e' un'ottica specialistica e la sua misurazione e' riportata unicamente titolo informativo.

Abbiamo effettuato piu` misurazioni per ciascuna lente focheggiando in corrispondenza dei simboli di 1m ed  $\infty$  e poi effettuando la correzione IR. Proprio perche` correzione per l'IR e' in realta` una procedura approssimata, il risultato ottenuto e' la media di piu` letture in modo da appianare inevitabili errori di posizionamento della ghiera di MAF.

Lente	Focale	Diaframma	IR Shift (mm)
			<b>aumento della distanza dal piano focale</b>
Nikon AiS 50mm/1.4 MF	50	1.4	0.15
Nikon AiS 50mm/1.8E MF (metal)	50	1.8	0.18
Nikon AiS 50mm/1.8 AF	50	1.8	0.16
Nikon AiS 55mm/2.8 MF Micro	55	2.8	0.15
Yashica 50mm f1.7	50	1.7	0.15

Dalla tabella risulta che lo spostamento e' tra gli 0.15 ed i 0.18mm: Una media di 0.16mm di allungamento del tiraggio che (almeno per il 50mm) sembra essere una costante per tutte le distanze analizzate.

Nel caso del 50mm f1.4 Ai Nikon questo spostamento si ottiene spostando la ghiera di circa 2,3mm o, meglio, eseguendo una rotazione di 1°18'.

## **ESPERIMENTI CON OBIETTIVI CANON E NIKON SU CANON 350D MODIFICATA PER INFRAROSSO**

In quello che segue presentiamo i risultati di svariati esperimenti che abbiamo fatto su una Canon 350D (Rebel XT) modificate permanentemente per fotografia all'infrarosso come abbiamo descritto sopra.

Abbiamo prima testato questa Rebel XT modificata e confrontata con alcune foto ottenuta con una Canon 1DsMkII con un filtro IR applicato all'obiettivo.

## **REBEL XT MODIFICATA E CANON 1DsMkII CON FILTRO IR**

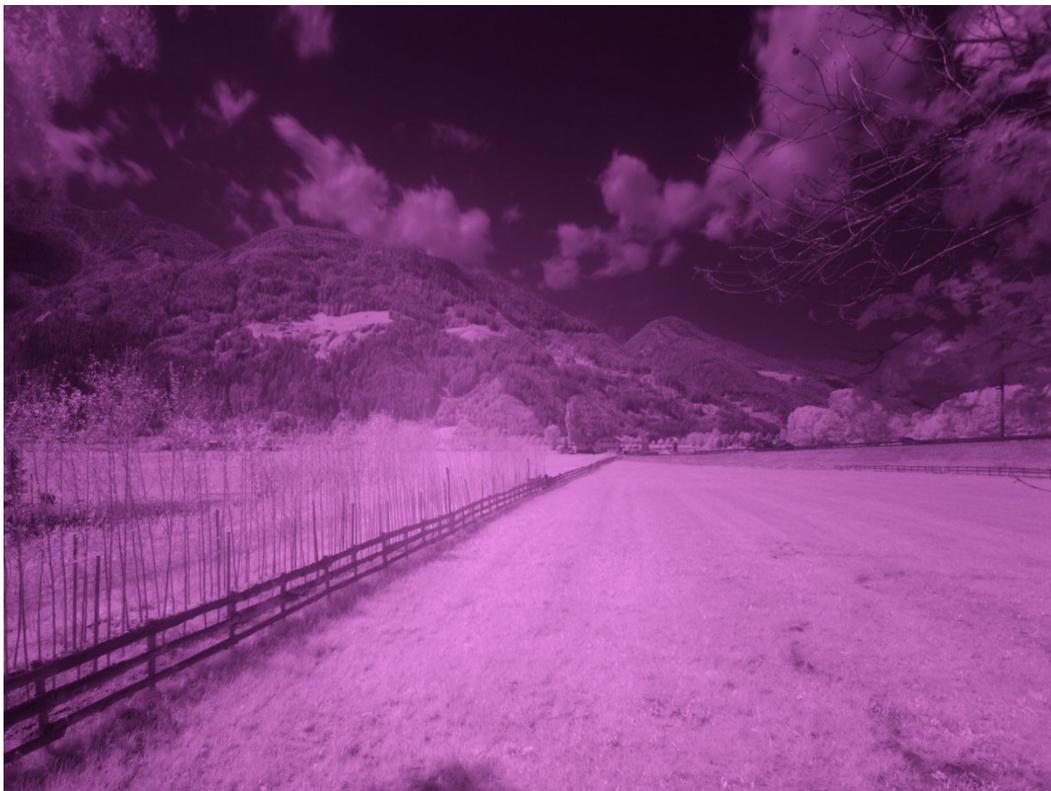
Il filtro che abbiamo usato sulla lente frontale dell'obiettivo montato sulla Canon 1DsMkII e' un filtro B&W 87C (093). L'obiettivo che abbiamo usato per questo confronto e' lo zoom Canon 16-35mm f/2.8 USM L. Questa lente soffre di alcuni problemi, come vedremo in seguito, ma per il confronto che vogliamo fare qui va benissimo. Poiche' il sensore della Rebel XT e' piu; piccolo di quello della 1DsMkII (per un fattore di circa 1.6x) abbiamo dovuto decidere se mantenere lo stesso angolo coperto nelle due immagini prese con le due macchine o mantenere lo stesso numero di pixel. Abbiamo deciso in favore del secondo approccio, e quindi abbiamo tagliato l'immagine della 1DsMkII in modo che avesse la stessa risoluzione della Rebel XT.

La immagini sono state prodotte in RAW e convertite in TIF tramite DPP della Canon senza apportare alcun cambiamento. Non abbiamo applicato alcun 'sharpening'. In generale le DSLR Canon producono immagini abbastanza soffici che richiedono sostanziale sharpening.

Iniziamo con due immagini dalla Rebel XT e la 1DsMkII. Questa e' quella dalla Rebel:



E questa e' quella dalla 1DsMkII



La differenza nei colori e' dovuta al diverso modo in cui i tre canali rispondono. Come vedremo sotto, la Rebel XT tende a sovraesporre il canale rosso con *lenti molto luminose*. In altre

parole, non e' vero che il canale migliore sia sempre quello verde (come in questo caso), dipende dal particolare obiettivo. In questo caso il canale rosso e' pesantemente sovraesposto.

Ecco i tre canali della Rebel XT.

Il rosso:



Il verde:



Il blu:



I tre canali della 1DsmkII sono riportati qui sotto.

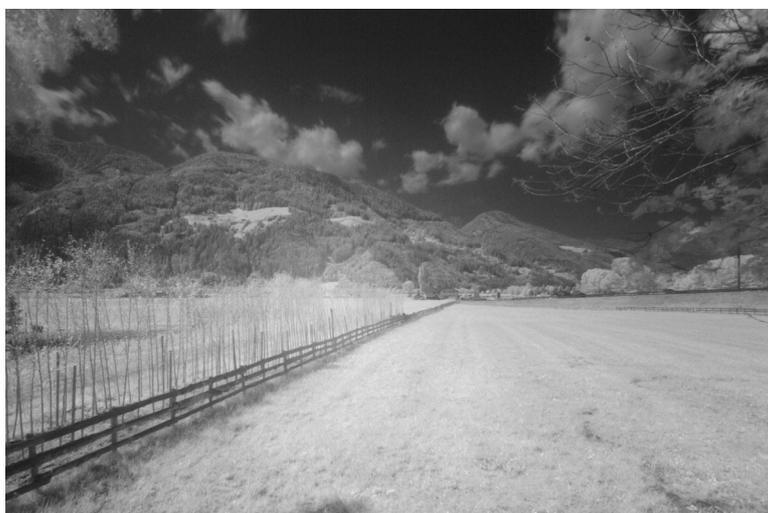
Il rosso:



Il verde:



Il blu:



La prima osservazione da fare e' che (sebbene i fotogrammi siano troppo piccoli qui per renderlo evidente) c'e' parecchio rumore nella immagine dalla 1DsMkII. Questo lo si capisce perche' l'esposizione con la 1DsMkII era di 20 secondi, mentre quella con la Rebel XT era di 1/200 (!) con lo stesso diaframma. Una seconda osservazione e' che il migliore canale nel caso della Rebel XT e' facile da determinare (il verde) mentre nel caso della 1DsMkII la situazione e' piu' ingarbugliata. In ogni caso, il suggerimento e' quello di usare sempre il channel mixer per ottenere il risultato piu' soddisfacente.

Nella seconda parte di questo articolo considereremo in dettaglio il problema della messa a fuoco quando si fotografa in infrarosso ed esamineremo il comportamento di alcuni obiettivi, sia classici Nikon AIS manuali che Canon AF di ultimissima generazione. Vedremo che questo problema e' abbastanza complesso. Senza giungere ad una lista di obiettivi 'buoni' e 'cattivi' (perche' peccherebbe di faciloneria e mancanza di rigore scientifico), condivideremo con il lettore una serie di problematiche per cui, volendo affrontare la fotografia all'infrarosso, quest'ultimo sa dove cercare potenziali trappole o difficolta' nascoste. E' questo il contributo che speriamo la seconda parte di questo articolo offra, non un insieme di regolette quindi, ma il portare in superficie problematiche generali e possibili modi per affrontarle.