

Astrofotografia CCD nell'IR vicino

L'IR per combattere il seeing sfavorevole e l'inquinamento luminoso

di Fulvio Mete

Premessa

Il breve articolo che segue non vuole affatto sminuire l'importanza della lotta all'inquinamento luminoso, alla quale tutti gli appassionati di astronomia sono chiamati a dare il loro contributo: esso vuole semplicemente, in attesa di un auspicabile reale miglioramento della situazione nel nostro paese (è di questi giorni l'inserimento nella legge di stabilità della manovra "cieli bui"), mettere in condizione gli astrofili che abitano in zone cittadine ad alto tasso di IL di poter comunque fare astronomia CCD.

Molti astrofili che hanno la sfortuna di risiedere nelle grandi città, o comunque in siti ad elevato tasso di inquinamento luminoso sono portati a rinunciare alle riprese CCD di oggetti estesi del profondo cielo nella convinzione che sia una impresa impossibile o comunque scarsamente remunerativa. Non è esattamente così, e qualcosa è possibile ottenere, a patto di scendere a qualche compromesso. Alcuni bypassano il problema usando filtri interferenziali centrati sulla riga H α dell'idrogeno a 656.28 nm di 12, 6 od addirittura 3 nm di banda passante; tuttavia tali filtri, a parte il costo elevato, registrano molto bene l'emissione della massima parte degli oggetti nebulari ma non registrano nello stesso modo buona parte delle stelle di campo, specie nei telescopi di piccolo diametro: otteniamo quindi immagini parziali, nelle quali le stelle mancano o sono ridotte al minimo. Nell'IR vicino, d'altro canto, si verifica il fenomeno opposto, l'emissione nebulare è scarsamente evidente (l'H α non viene registrata) mentre gran parte delle stelle di campo sono quasi normalmente riprese, dato che tutte le classi spettrali, dalla O alla M hanno una certa intensità di radiazione nell'IR. Scopo del presente lavoro è di investigare sugli effetti dell'inquinamento luminoso e del seeing nella finestra di lunghezza d'onda che va da 700 a 1000 Nm, ovvero quella che viene normalmente chiamata "Infrarosso vicino".

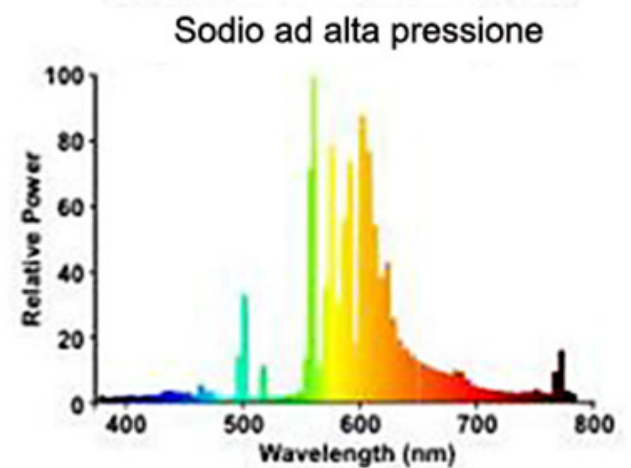
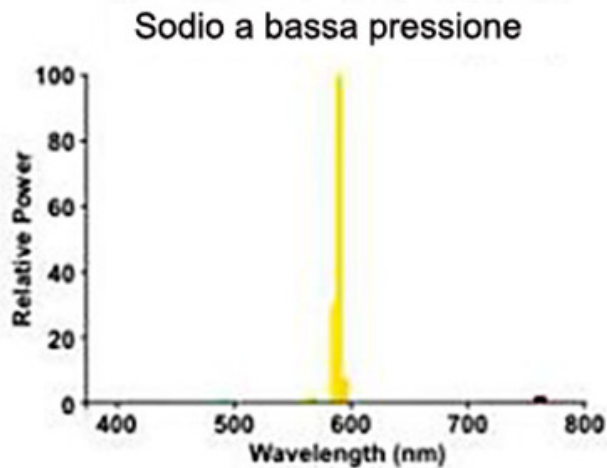
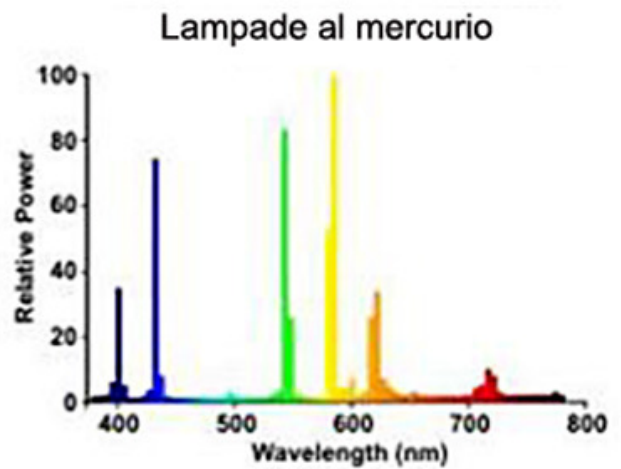
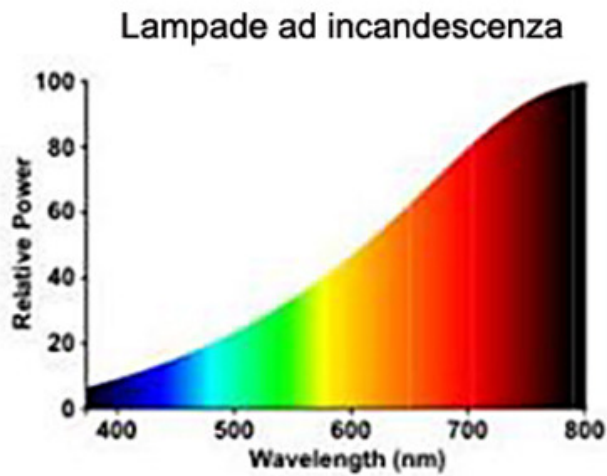
1-Inquinamento Luminoso e IR

Il maggior impatto dell'inquinamento luminoso avviene nel visibile: luci di ogni tipo e frequenza emettono radiazione in tutto od in parte anche verso l'alto, spesso in barba a divieti e limitazioni, ma vediamo in dettaglio gli effetti delle maggiori sorgenti inquinanti, private e pubbliche, tra le quali:

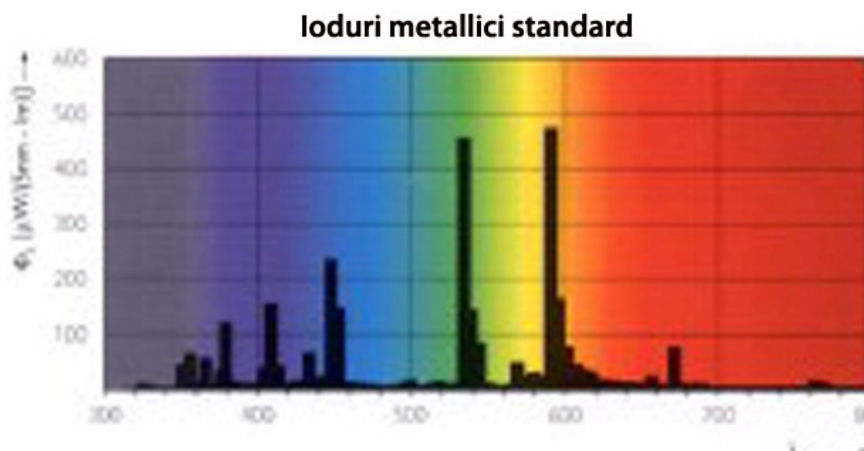
L'illuminazione pubblica è oggi basata su alcuni principali tipi di lampade: quelle al mercurio e quelle al sodio a bassa ed alta pressione.

La situazione nell'intervallo 370-800 nm è grosso modo la seguente (lo spettro delle lampade ad incandescenza è riportato a solo titolo di riferimento, essendone stata

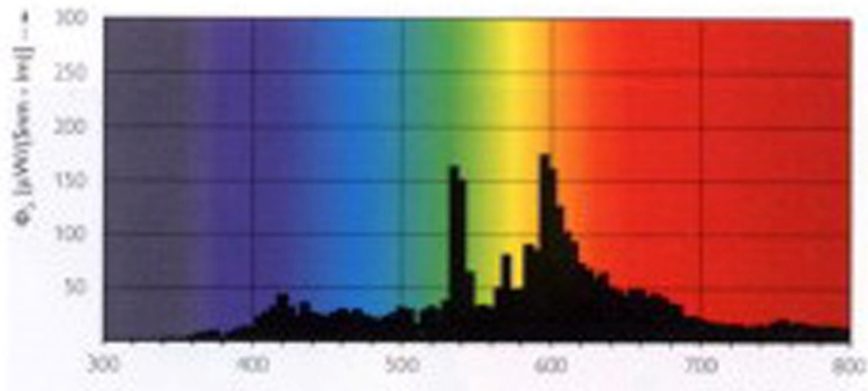
vietata la vendita dal 1° settembre del 2012), esso è esemplificativo dell'inefficienza di dette lampade, che emettono più nell'IR che nel visibile, e quindi emettono più calore che luce:



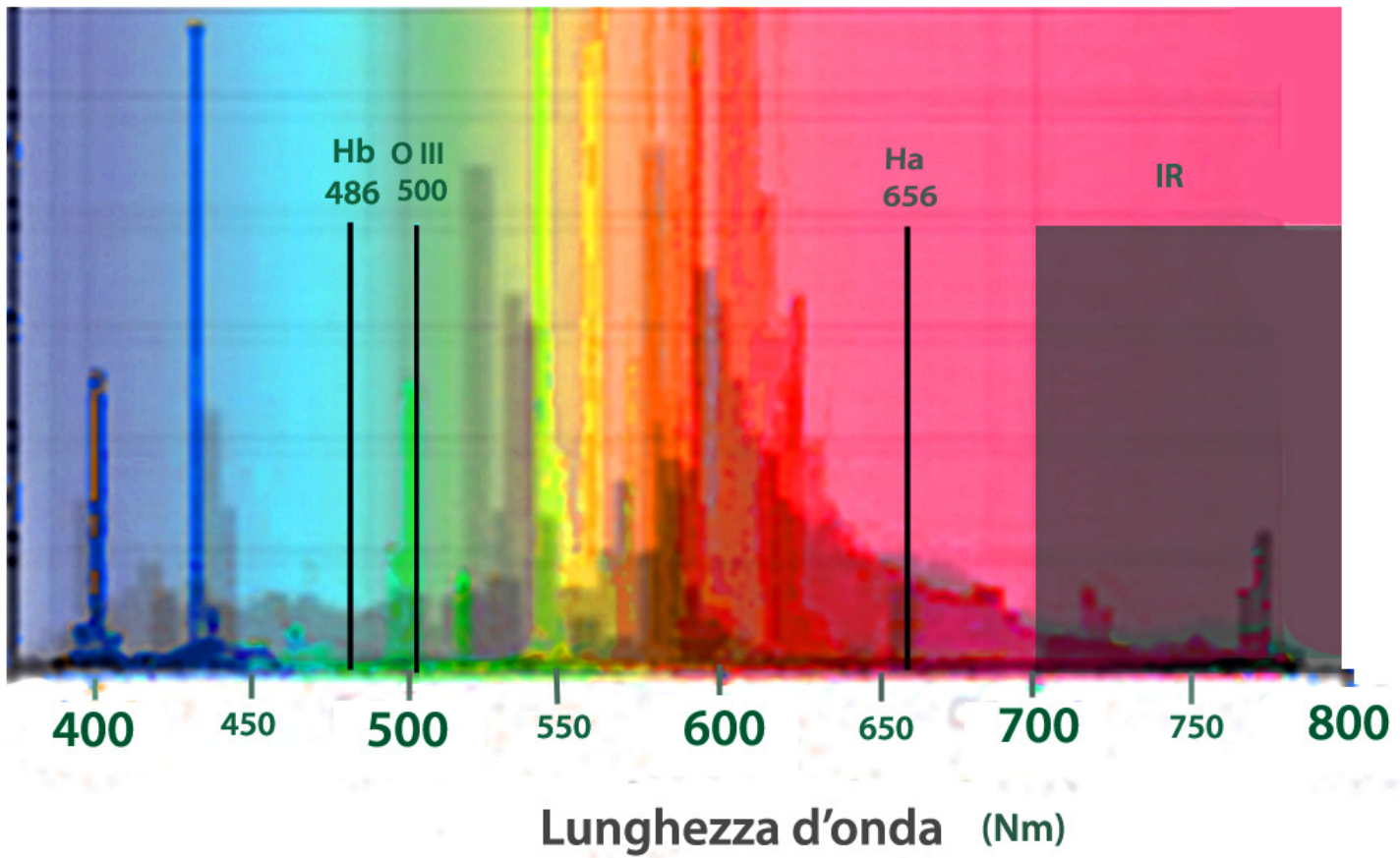
le lampade ad alogenuri, indicate per l'illuminazione di impianti sportivi e monumenti presentano i seguenti spettri di emissione:



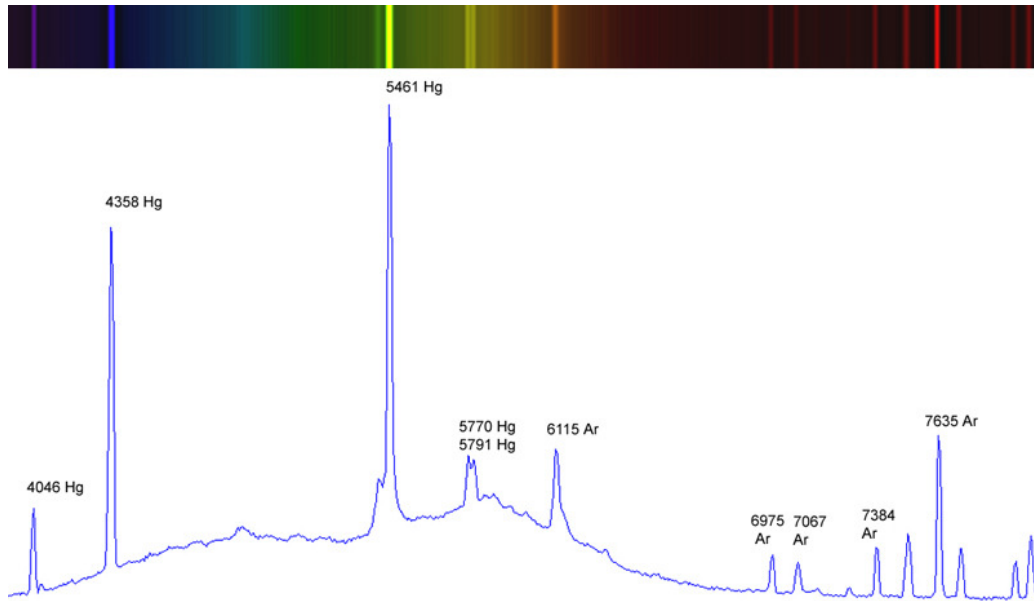
Ioduri metallici con bruciatore ceramico



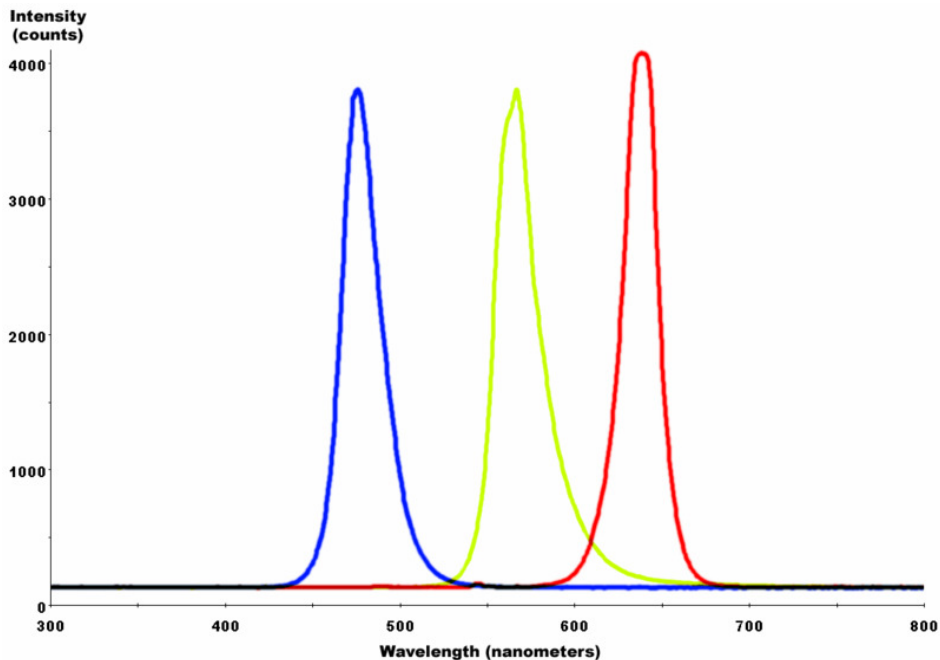
In via di approssimazione, l'intensità dello spettro di emissione complessivo dell'illuminazione pubblica in Italia nella zona 370-800 nm potrebbe essere mediamente quello della figura che segue, con una breve diminuzione di intensità nel visibile intorno ai 450-490 nm ed una costante riduzione dopo i 656 nm. Ovviamente il grafico somma arbitrariamente tutti i tipi di illuminazione, mentre nei singoli casi occorrerà valutare qual è il tipo di illuminazione predominante nella zona e nel territorio e regolarsi in conseguenza. Nel grafico sono riportati i punti in cui emettono idrogeno beta e alfa e l'Ossigeno III, alcune delle principali componenti delle nebulose ad emissione, e la banda dell'IR vicino per riferimento.



L'illuminazione privata, dopo la messa al bando delle lampade ad incandescenza, si basa sulle lampade cd "a basso consumo" ed a Led.m che saranno presto diffuse anche nell'illuminazione pubblica



Anche lo spettro delle lampade a basso consumo è concentrato nella parte del visibile tra i 400 e 600 nm, con una modesta emissione a 763 nm. Quanto alle lampade a LED, in genere il colore bianco è ottenuto mediante l'unione di LED con tre colori primari (RGB) che recano lo spettro seguente:tali lampade apportano un disturbo in tutta la zona del visibile, ma non sono ancora molto diffuse per l'illuminazione pubblica.



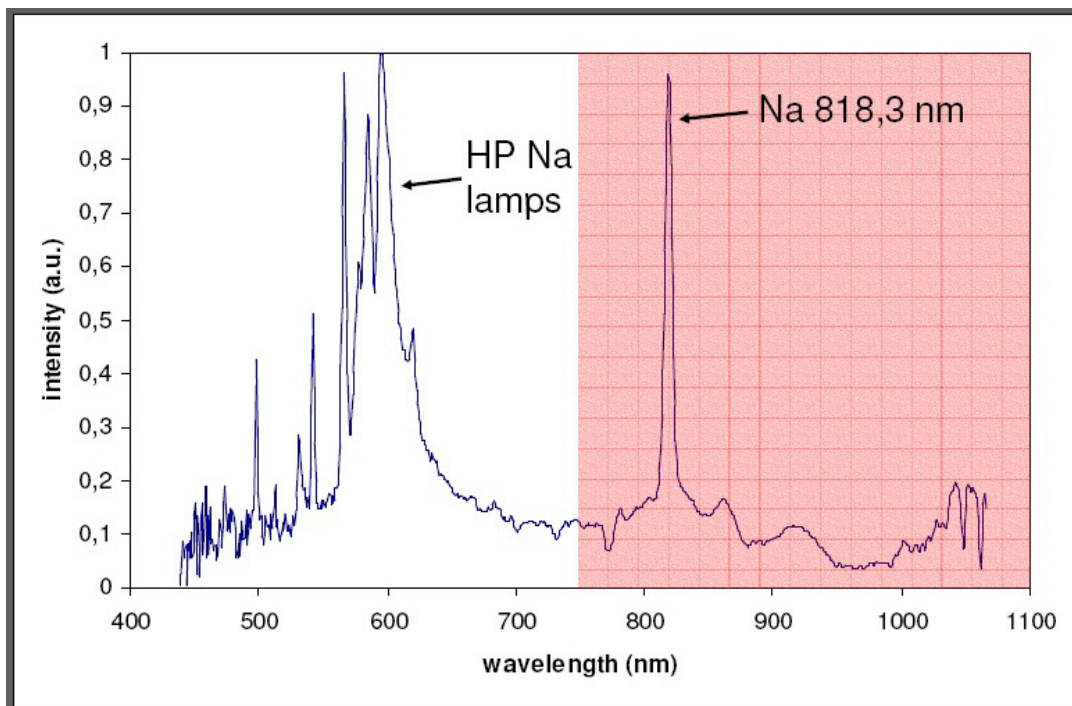
Tenuto conto di quanto detto in precedenza, si può osservare quanto segue:

- 1- la radiazione emessa dalle lampade ad incandescenza al tungsteno è l'unica che presenta maggiore intensità nella parte infrarossa dello spettro. Tali lampade sono tuttavia non più usate, a norma di legge, sul territorio nazionale.**

- 2- **tra tutte le lampade dell'illuminazione pubblica quella che sono più facilmente controllabili dal punto di vista della eliminazione dei loro effetti nocivi sono quelle del sodio a bassa pressione, con il classico, ristretto picco di emissione a 589 nm.**
- 3- **La maggior parte dell'IL si concentra, nel visibile, nelle zone dello spettro visibile comprese tra 400 -440 nm e tra 490 e 650 nm, con un picco generale intorno ai 600 nm:**
- 4- **A 500 nm l'IL è quello della tutto sommata modesta emissione del sodio ad alta pressione, mentre a 656.3 nm (Ha) l'effetto dell'IL è contenuto. Questo spiega perché i filtri UHC, che lasciano passare bande centrate su 500 e 656 nm siano abbastanza efficienti (a parte la minor luce trasmessa) nello scurire il cielo nelle zone ad IL elevato.**
- 5- **Esiste un buco nell'intensità del disturbo dell'IL tra 450 e 490 nm che potrebbe rendere utile l'uso dei filtri H beta.**
- 6- **Tenuto conto che l'illuminazione stradale con lampade ad incandescenza è virtualmente sparita o comunque limitata a poche zone od ambienti privati, ed in via di sostituzione con le nuove lampade a norma, si nota come l'inquinamento luminoso tende ad appiattirsi sino a quasi sparire tra 700 e 800 nm(ad esclusione di alcuni picchi residui del sodio HP intorno ai 763 nm)**

Ma vediamo cosa succede nell'IR dopo gli 800 nm:

Come si può osservare nell'immagine che segue (fonte "NIR measurement L.P Andreic e altri) dopo gli 800 nm la maggior fonte di disturbo è data dall'emissione del sodio delle lampade ad alta pressione a 818.3 nm.



Possiamo ora valutare quali sono le conseguenze dell' IL nell'infrarosso vicino.

A parte la lieve emissione delle lampade a basso consumo private, ed a LED, nell'IR la principale fonte di disturbo appare l'emissione del sodio ad alta pressione a 818 nm nelle zone in cui è presente tale tipo di illuminazione pubblica. Quindi:

1- nelle zone nelle quali è predominante l'illuminazione pubblica col sodio a bassa pressione o al mercurio (o mista) e quella privata con lampade a basso consumo l'uso di filtri H beta, a 486 nm, H alfa a 656 nm e quelli IR Pass > 700 nm permette in pratica di bypassare quasi totalmente il disturbo dell'IL

2-Nelle zone in cui predomina il sodio ad alta pressione, in comunione o meno con le lampade al mercurio o neon o a basso consumo l'accoppiata Hb; Ha ; filtri IRpass > 800 nm permette i risultati migliori.

3 - L'uso di filtri IR pass accoppiato a quello del Baader Neodymium o filtri analoghi, che tagliano anche la zona tra 800 e 840 nm, elimina virtualmente ogni tipo di interferenza luminosa nell'IR vicino.

Esperienze effettuate e valutazioni relative

La mia esperienza riguarda i risultati ottenibili con tre filtri, tutti Astronomik, e quindi ,almeno sulla carta, parfocali, ovviamente con filtri di marca diversa, a parità di qualità ottica e di lunghezza d'onda, le cose non dovrebbero cambiare:

Ha da 6 nm (60 A) centrato a 6562.8 A, che fa passare la radiazione compresa tra 6532.8 e 6592.8 A;

IR 742 ,IR longpass , che traccia l'infrarosso vicino da 7420 A in poi;

IR 807 ,IR longpass , che traccia l'infrarosso vicino da 8070 A in poi;

Gli ultimi due filtri sono normalmente usati in riprese CCD planetarie in quanto hanno lo scopo di mostrare particolari delle bande del metano e dell'ammoniaca su Giove e Saturno: non sono quindi dei filtri progettati per il cielo profondo.Essi, tuttavia, esplicano un duplice effetto positivo: limitare, se non eliminare completamente, in alcuni casi, gli effetti dell'IL e contenere la scintillazione e la deformazione dei dischi stellari dovuti al seeing.Per contro, l'IR provoca un allargamento dei dischi stellari, che risultano pertanto più larghi di quelli del visibile: la parfocalità dei filtri non agisce quindi, o agisce limitatamente anche tra filtri della stessa marca, ragion per cui è sempre necessario rifocheggiare quando essi vegono installati.Sul filtro Ha non c'è molto da dire, data la estrema diffusione di tale filtro tra gli astrofili, che lascia passare, come si sa, la radiazione dell'Idrogeno ionizzato centrata su 656.28 Nm, che è quella in cui emettono la maggior parte degli oggetti nebulari.

1- Località extraurbana,alta zona collinare,normalmente a medio tasso di IL (Altipiani di Arcinazzo-Piglio(FR)) in condizioni locali di estremo IL.

La situazione della postazione osservativa verso sud, in direzione dell'oggetto da riprendere (M16), la sera del 3 agosto 2012 era la seguente Illuminazione diffusa, pubblica e non, essenzialmente con lampade al Mercurio ed a basso consumo, luna piena.L'oggetto stesso si presentava basso sull'orizzonte ed immerso in un velo di foschia.In tali condizioni era imperativo abbandonare qualsiasi velleità astrofotografica e dedicarsi ad una buona lettura.



Ho approfittato tuttavia di tali pessime condizioni per verificare il sistema di ripresa anzidetto, con un rifrattore semi apo Tecnosky 80/560 ed una camera Sbig ST8 XME.

Ho proceduto quindi alle seguenti integrazioni complessive, sommando immagini singole da 600 sec, dopo l'applicazione di dark e flat

- Ha 6 nm 2400 sec***
- IR pass > 742 nm 1800 sec***
- IR pass > 807 nm 1800 sec***

Da tali immagini ho poi ottenuto un falso RGB assegnando all'Ha il colore rosso, all'IR 742 il verde, all'IR 807 il blu. Il risultato è quello sottostante, nel quale il difetto più evidente è la colorazione blu delle stelle; tuttavia:

- La parte nebulare è stata correttamente registrata***
- Le stelle visibili sono superiori a quelle osservabili nelle normali immagini RGB per effetto della capacità dell'IR di penetrare attraverso polveri e foschia (non solo del cielo inquinato, ma anche dell'oggetto stesso).***

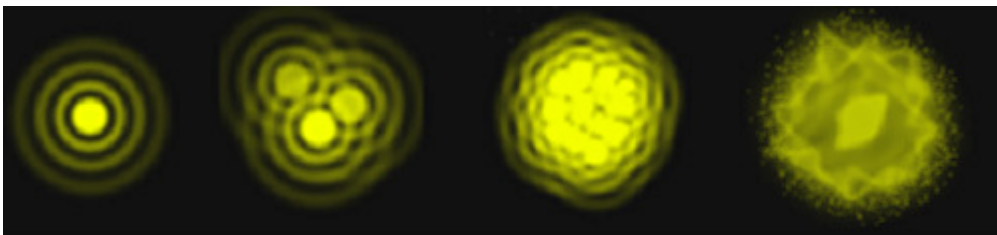


2-Località ad elevato tasso di inquinamento luminoso (Roma -Ponte di Nona- Zona Prenestina) In condizioni di forte IL per la presenza di un grande agglomerato urbano.

***Nell'immagine che segue è mostrata una ripresa effettuata dal mio Osservatorio di Ponte di Nona a Roma (illuminazione cittadina predominante nella zona sodio ad alta e bassa pressione) della Nebulosa del granchio (M1) in luce IR con un filtro Astronomik IR 742, C14 @ 7, camera Sbig ST8 XME. L'immagine, confrontata con quella ottenuta nella Survey 2 MASS da telescopi professionali di grande diametro in banda J in località montane, non sembra sfigurare, anzi....
Successivamente è riportata la stessa immagine, in composizione in falsi colori con l'aggiunta di una ripresa Ha con filtro da 6 nm.***



Senza l'atmosfera una stella avrebbe come immagine apparente un "disco di Airy", determinato esclusivamente dalla diffrazione, di diametro inversamente proporzionale al diametro del telescopio, sulla base delle note formule sul potere risolutivo. La turbolenza ed il tremolio dell'aria alle alte, basse e medie quote provoca tuttavia la frantumazione del disco di Airy in una miriade di "speckles" che ruotano, vibrano e si muovono intorno al disco centrale, provocando una immagine alterata e molto più grande del disco di Airy (disco di Seeing). Si può dire che qualsiasi astrofilo si sia dovuto e si debba confrontare con tale realtà quando si accinge ad effettuare riprese CCD a lunga posa, nelle quali il seeing e la qualità del cielo giocano un ruolo determinante, nel senso che il potere risolutivo dei telescopi di qualsiasi diametro non è più limitato dalla diffrazione, ma dal seeing del luogo: è anche nota la giusta asserzione in forza della quale nelle serate di seeing cattivo conviene osservare o riprendere con diametri minori. Nell'immagine seguente sono mostrati vari tipi di speckles provocati dal seeing sull'immagine stellare (disco di Airy e anelli) originaria. In pratica è quindi il disco di seeing a determinare la risoluzione raggiungibile da un dato sistema ottico, e quindi il modo in cui una immagine stellare possa essere portata al fuoco nel modo più possibile vicino al diametro ed alla qualità dell'ottica stessa. Uno dei sistemi per contenere i danni del seeing sfavorevole sui telescopi professionali basati a terra è stato quello delle cd "ottiche adattive" nelle quali un sensore misura le deformazioni del fronte d'onda generate dal seeing e le trasmette ad una centralina che comanda una serie di "attuatori" che deformano lievemente la figura dello specchio in modo da ottenere il miglior fuoco possibile. Anche in campo amatoriale si sono evoluti negli ultimi anni dispositivi chiamate pomposamente "Ottiche adattive", basati su specchi oscillanti mossi da piccoli motori sulla base delle distorsioni dell'immagine stellare. Tali dispositivi tuttavia per funzionare al meglio necessitano di un elevato numero di Hertz, e/o quindi di stelle molto luminose ed ottiche di elevato diametro, essi vengono quindi normalmente ed utilmente impiegati per effettuare operazioni di autoguida senza intervenire sugli assi della montatura.



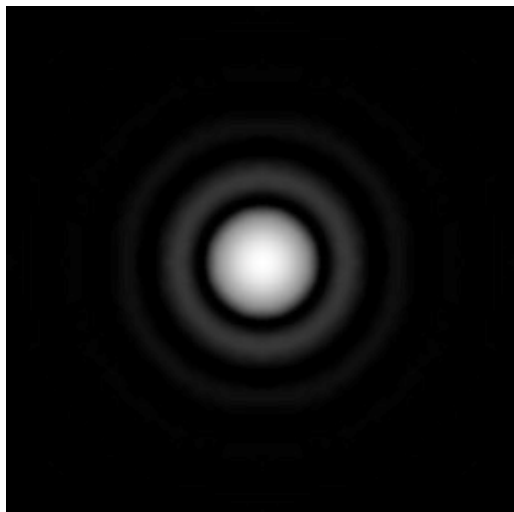
L'immagine stellare deformata dal seeing

Altri sistemi, professionali e piuttosto complessi per contenere il seeing e ridurre i suoi effetti sino lo "Speckle imaging" ed il "Lucky imaging" che utilizzano sistemi ed algoritmi fuori della portata dell'astrofilo.

La valutazione dell'immagine di diffrazione di una stella e della qualità del seeing viene normalmente fatta con due diversi tipi di scale: quella di Antoniadi, articolata in 5 valori (eccezionale, buono, medio, cattivo, pessimo) e quella di Pickering, con ben 10 gradazioni, da "very poor" a "perfect".

Dimensioni del disco di Airy

Il Disco di Airy è l'immagine stellare sino al primo anello:



Le dimensioni del disco di Airy sono date dalla formula:

$$D = 2,44 \times (F/D) \times \text{Lambda}$$

**Dove: F/D è il rapporto focale del telescopio
Lambda la lunghezza d'onda della luce**

Applicando tale formula, si nota come il diametro del disco di Airy vari in modo direttamente proporzionale al rapporto F/D (e, quindi, fermo restando D, alla focale del telescopio) ed alla lunghezza d'onda della luce.

Per un F/D 10, il valore del disco di Airy è pari a 0,012mm a 450 nm (blu) e 0,022 a 900 nm. In pratica. Esso quasi raddoppia col raddoppiare della lunghezza d'onda in nm. La media del diametro del disco di Airy nel visibile è 0,0133 (media di 450, 550 e 650 nm), mentre quella nell'IR vicino è 0,0207 (media di 750, 850 e 950 nm), quindi del 53% circa superiore (vd. Immagine)

E' interessante notare come, sempre per un sistema a f 10, la grandezza ottimale ai fini del campionamento dei pixel del sensore di una camera CCD nel visibile sia di circa 6.8, mentre tale valore sale ad oltre 10 nell'IR vicino. In parole povere, le camere equipaggiate con un sensore più grande campioneranno meglio nell'IR.



Disco di Airy risultante dalla media dei valori nel visibile e nell'IR

Sembrerebbe quindi, in condizioni teoriche di assenza di elementi perturbatori, che l'osservazione e la ripresa CCD nell'OR vicino sia non conveniente, tuttavia, come si è detto, il seeing sfavorevole è un elemento determinante e decisivo, con cui occorre inevitabilmente fare i conti, inoltre.....

Seeing e lunghezza d'onda

L'indice di rifrazione dell'aria è inferiore quando si va verso le lunghezze d'onda maggiori, quindi la limitazione imposta dal seeing tende a diminuire quando ci si muove verso l'IR vicino. Molti astroimager (compreso chi scrive) hanno infatti sperimentato che le riprese planetarie ad alta risoluzione tendono a migliorare notevolmente con l'uso di filtri IR Pass. Contemporaneamente l'allargamento del disco di airy tende ad "assorbire" una parte degli speckles creati dal seeing. In parole povere, gli effetti negativi di un seeing sfavorevole tendono ad essere, se non annullati, diminuiti in modo notevole utilizzando lunghezze d'onda maggiori, sino a 1000 nm, che normalmente costituisce il limite maggiore dell'accoppiata telescopio-camera CCD. Ovviamente qui si parla di seeing dell'alta e media atmosfera e non del seeing locale, quello immediatamente vicino alla postazione della strumentazione, quali terrazzi e camini. La turbolenza dell'aria indotta da tali fattori risulta infatti molto più difficilmente controllabile.

L'uso nelle riprese CCD di lunghezze d'onda dell'IR vicino permette allora un duplice risultato positivo: l'abbattimento dell'inquinamento luminoso ed il contenimento del seeing sfavorevole a fronte di un modesto inconveniente: l'aumento del diametro del disco di Airy della metà circa del suo valore. Ora, facciamo un po' di conti: ammettiamo di possedere un telescopio aperto a f 10 con un potere risolutivo delle ottiche di 0.6 arcsec per effetto dell'aumento delle dimensioni angolari del disco di Airy nell'IR il suo potere risolutivo teorico peggiorerà del 50% circa, portandosi a 0,9 arcsec, ma un

seeing cattivo limiterebbe comunque tale potere risolutivo a 3 arcsec, se non di più, ergo, la perdita di potere risolutivo teorico è ininfluente: molto più importante è il miglioramento del seeing da 3-3,5 arcsec a 2-2,5 arcsec e l'abbattimento dell'IL col conseguente miglioramento del contrasto del fondo cielo.

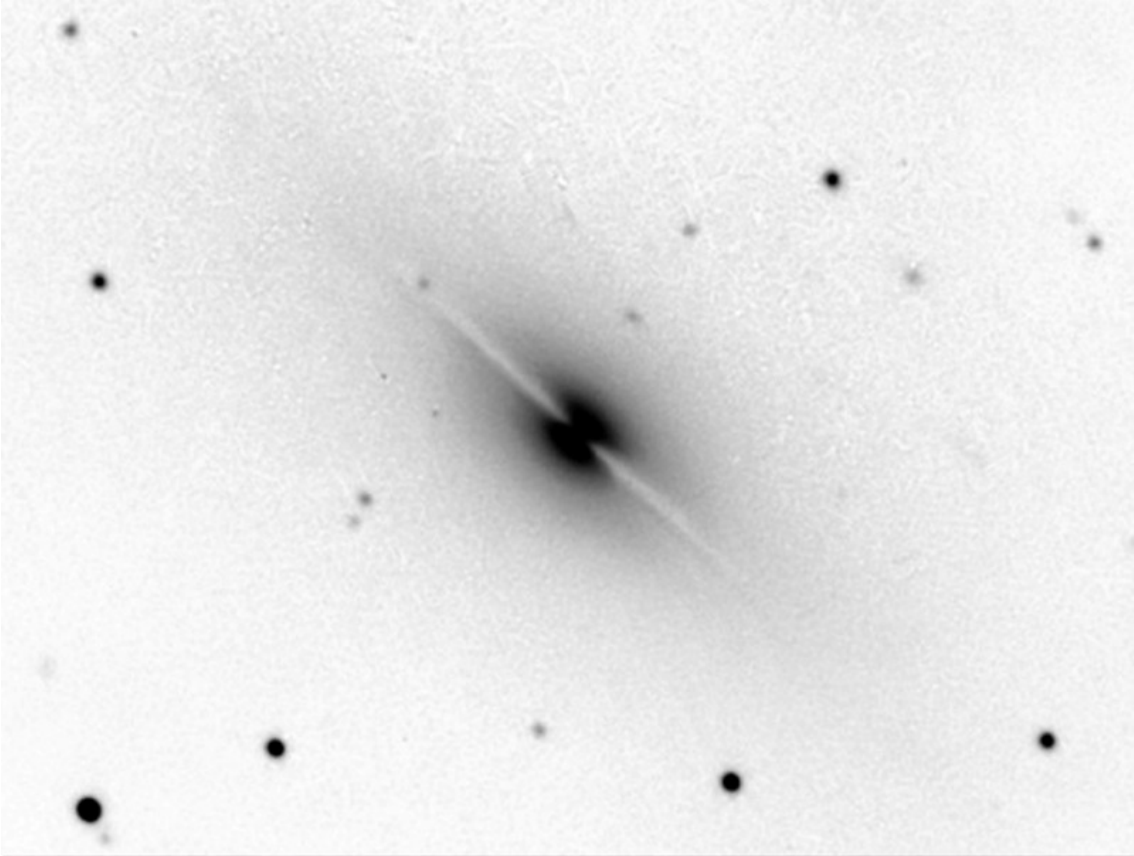
Esperienze effettuate e valutazioni relative

Località urbana ad elevato tasso di inquinamento luminoso (Roma -Ponte di Nona-Zona Prenestina) In condizioni di forte IL e seeing cattivo , valutato a 3 della scala di Pickering (forte vento) .

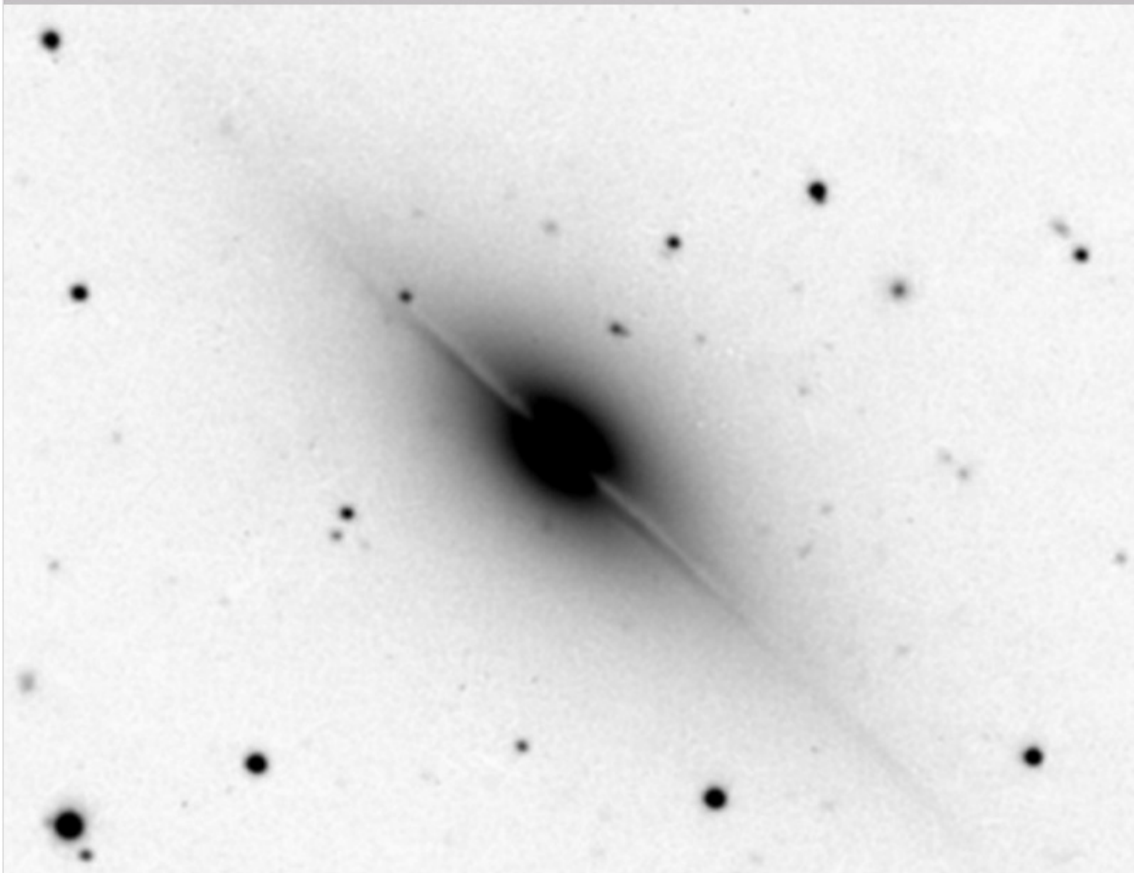
Lo strumento utilizzato è stato un C 14 @ 7, per una focale di 2500 mm ed una copertura di 0.6 arcsec x pixel.La camera una SBIG ST8 in binning 1x1, con pixel da 9 micron.Il target era la galassia NGC 7814 in Pegaso.Sono state effettuate nel visibile (fitro IR cut) 4 subframes da 600 sec ciascuna, + una da 200 sec per un totale di 2600 sec e, nell'IR vicino, n.4 subframes da 600 sec per un totale di 2400 sec.La comparazione delle immagini(un crop in negativo) , parla da sola.

L'immagine in IR, nonostante il minore tempo di integrazione, si mostra nettamente superiore a quelle nel visibile per i seguenti motivi:

- 1- Il "bulge" della galassia è molto più grande;*
 - 2- I particolari (stelle e piccole galassie) visibili attraverso il bulge stesso Sono maggiori;*
 - 3- La doppia striscia di polveri e gas che attraversa longitudinalmente la galassia e che costituisce una caratteristica della stessa è molto meglio visibile.*
- Non si tratta quindi della sola "capacità di penetrazione di gas e polveri" classica dell'IR,e sperimentata da chi scrive in molteplici occasioni, ma di una migliore resa globale dell'immagine rispetto a quella del visibile in condizioni osservative poco adatte all'imaging, in particolare a focale elevata.*



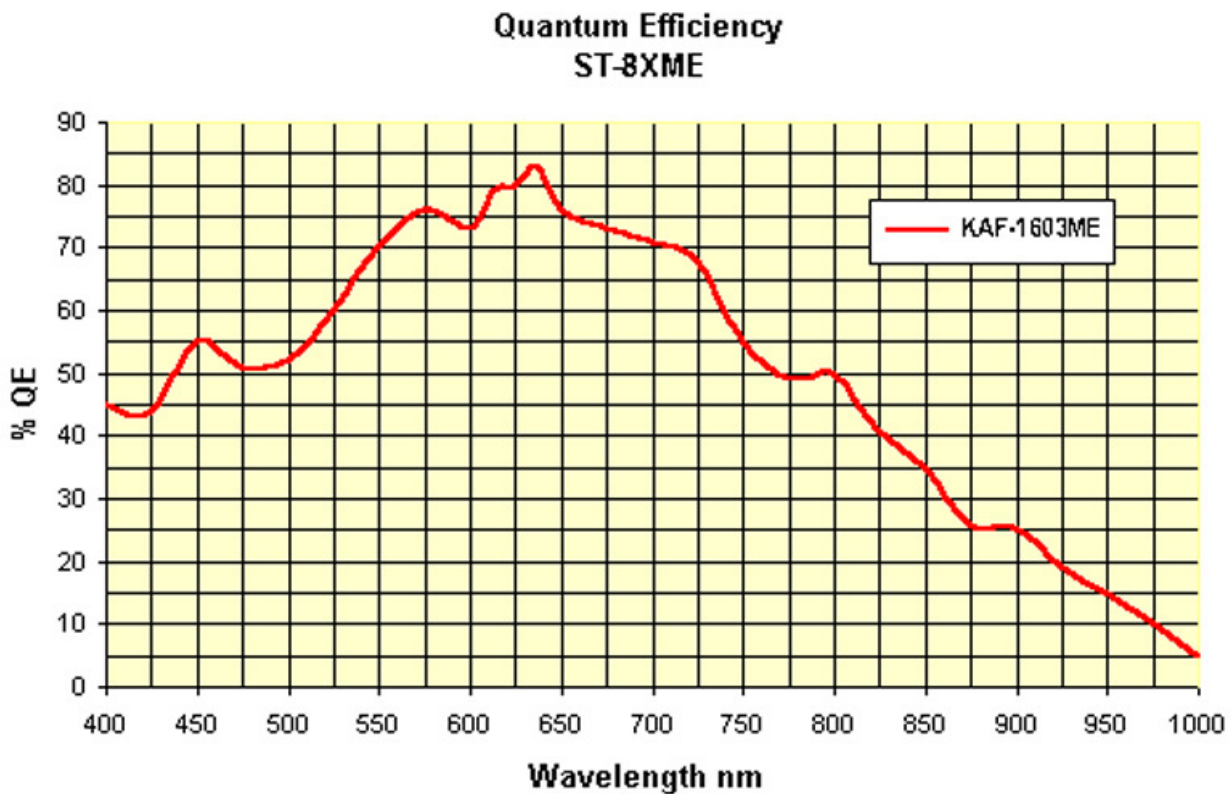
Visibile - Visible

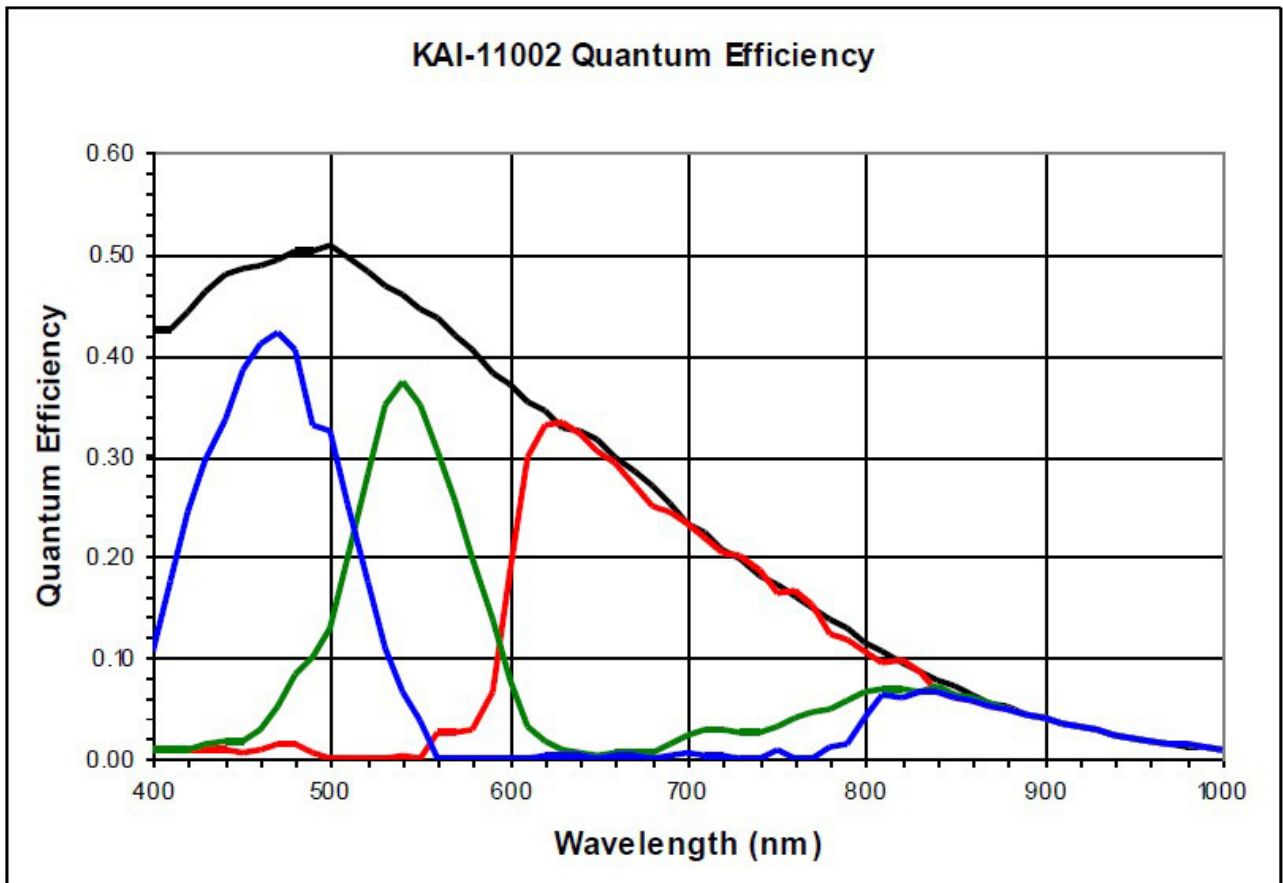
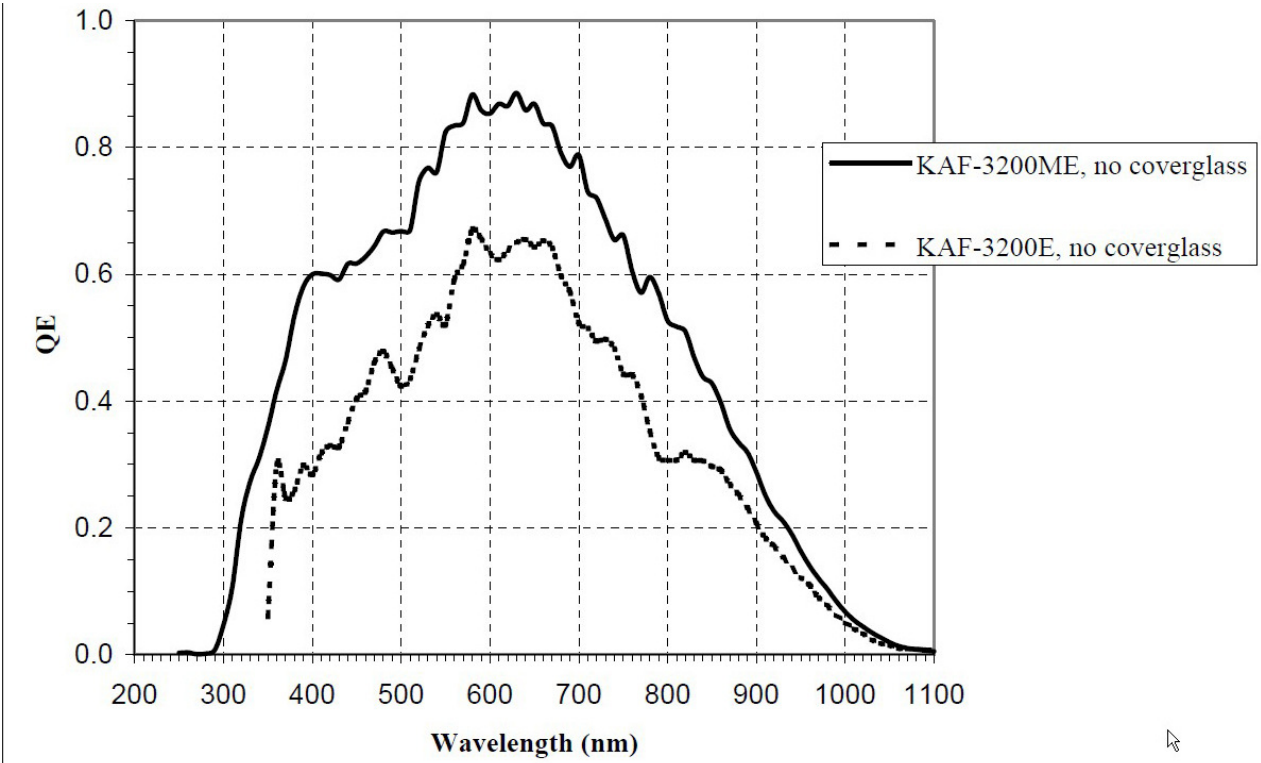


Near IR

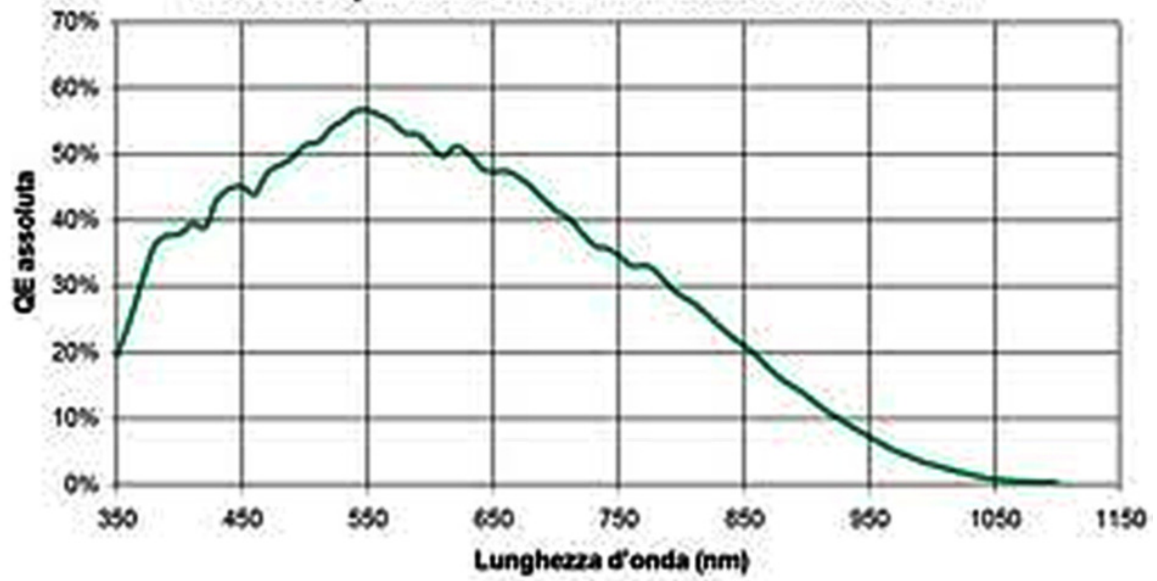
Quali camere CCD per l'IR?

Ma quali camere possono dare i migliori risultati nell'imaging IR? Non tutti i sensori CCD hanno infatti un'efficienza quantica estesa all'IR vicino, e non tutti nella stessa misura. Riporto di seguito, a titolo di esempio, la sensibilità spettrale di alcuni sensori Kodak che equipaggiano alcune camere SBIG, per dimostrare che anche nell'ambito della stessa casa produttrice le differenze sono cospicue: Si tratta infatti di sensori applicati su camere CCD di ampia diffusione ed in possesso di un gran numero di astrofili.; il KAF 1603 ME (ST8); il KAF 3200 ME (ST10 ed altre), il KAI 11002 (STL 11000); il KAF 8300 (ST 8300 e numerose camere di altre marche).

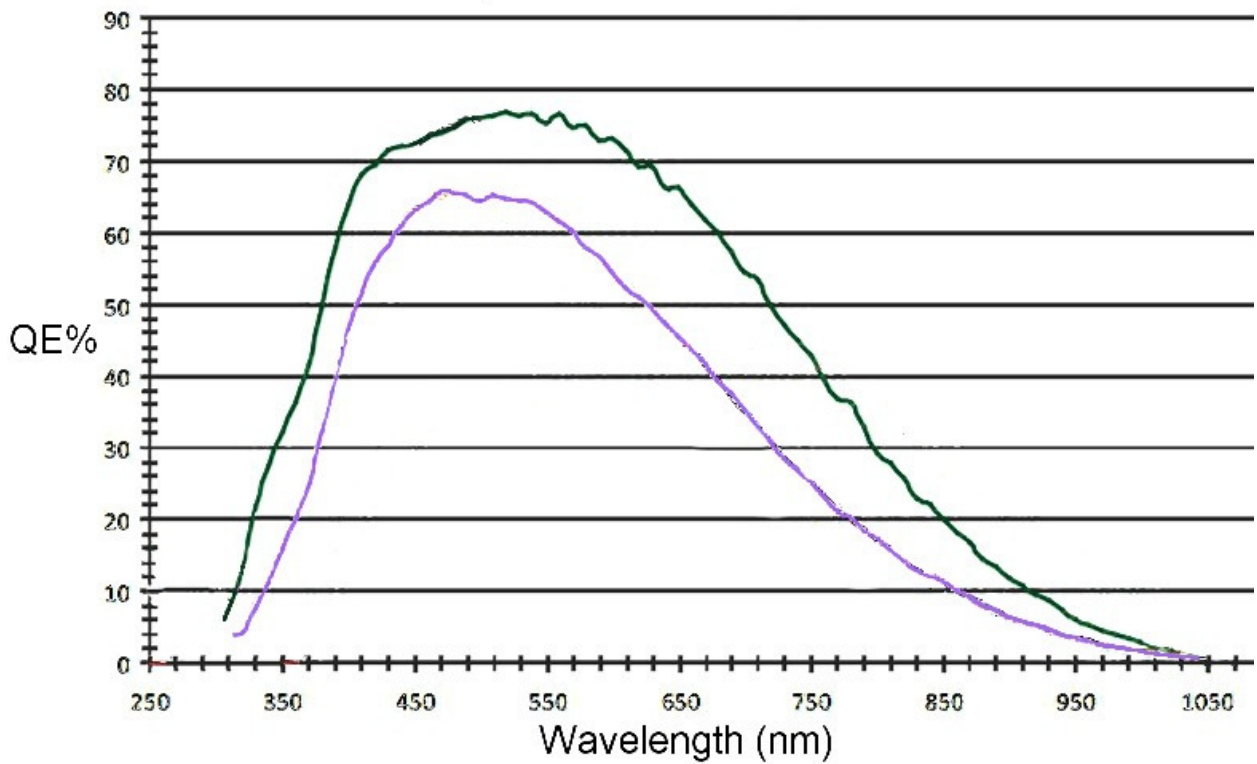




Efficienza quantica sensore KAF-8300 con microlenti



QE comparison of H674/694 with H9



Dai grafici si nota subito come i sensori KAF 1603 e 3200 hanno una sensibilità nell'IR vicino veramente notevole, che è mediamente del 50% a 800nm. Viceversa, i sensori KAI monocromatici o a colori presentano una sensibilità nettamente inferiore (ca il 12% a 800 nm). Il KAF 8300 si pone invece in una posizione mediana (ca il 28% a 800 nm).

Si nota inoltre che a 900 nm i KAF 1603 e 3200 hanno una sensibilità (ca il 25%) quasi pari a quella dell'STL 11000 a 660 nm, ossia in zona Ha!, mentre a 1000 nm questi sensori presentano una QE residua di poco inferiore a quella della vecchia pellicola fotografica.

Tali sensori , tra quelli che equipaggiano le camere amatoriali di fascia media, sono quindi quelli a mio avviso più indicati per le riprese CCD IR.

Buone prestazioni danno anche i sensori Sony ICX 674 e 694, che equipaggiano le camere Starlight H674 e H 694.

Per quanto riguarda le fotocamere digitali, il discorso è diverso, data la QE complessiva ridotta di queste, anche se modificate con la sostituzione del vetrino anti IR, rispetto alle camere CCD .Nel grafico seguente, una Canon 300D modificata è confrontata con una camera CCD con sensore KAF 402 ME: come si osserva a 700 nm la QE della Canon è quasi un quarto di quella della camera CCD. Per l'uso con l'IR sarebbe comunque necessario eliminare il vetrino anti IR dal sensore, nel qual caso i risultati dovrebbero migliorare.

