

CAPITOLO 1

ASTROFOTOGRAFIA

Introdotta per la prima volta nel 1850, da George P. Bond, l'applicazione della fotografia in campo astronomico si è dimostrata rivoluzionaria per lo sviluppo dell'astronomia. [4] La nascita dell'astrofotografia ha permesso di raggiungere nuovi livelli nello studio delle stelle e dello spazio che circonda il pianeta Terra arrivando fino a poter osservare ciò che si nasconde nello spazio profondo.

L'astrofotografia comprende diverse varianti che si distinguono per oggetto di ripresa, tecniche e strumenti utilizzati. Oltre alle immagini dettagliate di pianeti, nebulose e galassie, anche ogni tipo di scatto del cielo stellato, dalla paesaggistica notturna con Via Lattea agli star trail e alle foto della Luna in ambienti terrestri. La fotografia astronomica si articola così in tre principali categorie:

- Paesaggistica notturna, che integra il paesaggio terrestre a quello celeste;
- Imaging planetario, orientato alla ripresa ad alta risoluzione dei corpi del Sistema Solare con strumenti dedicati;
- Astrofotografia del profondo cielo, o deep sky, focalizzata sull'osservazione di oggetti remoti come nebulose e galassie.

Ciascuna variante richiede attrezzature, competenze e processi di post-produzione specifici, evidenziando la varietà degli approcci all'interno della disciplina. [5]

L'astrofotografia si ripromette quindi di raggiungere scopi ben più ambiziosi della fotografia tradizionale. I soggetti interessati, come stelle, galassie, pianeti e nebulose, presentano un serie di sfide tecniche non indifferenti. La loro luminosità estremamente ridotta e la grande distanza dall'osservatore rendono necessarie apparecchiature dedicate e lunghe esposizioni. Inoltre,

l'atmosfera terrestre introduce distorsioni e attenuazioni, rendendo la preparazione e l'esecuzione degli scatti astronomici molto più complessa rispetto a quella della fotografia classica.

Strumentazione

Come sottolinea Daniele Gasparri, “La fotografia astronomica non si fa solo con un telescopio, [...]” [6] indicando che le basi dell'astrofotografia possono risiedere anche in una dotazione tecnica più semplice, come una fotocamera reflex e un treppiede. La scelta della strumentazione ideale varia in funzione del genere di fotografia astronomica che si intende realizzare, crescendo in complessità nei diversi approcci secondo l'obiettivo scientifico o artistico.

Nella fotografia delle costellazioni, è sufficiente una strumentazione di base composta da un treppiede e una fotocamera reflex o compatta avanzata con funzionalità di controllo manuale, allontanandosi dalle luci artificiali per ottenere migliori risultati. I principali ostacoli sono la debole luminosità degli oggetti celesti e la necessità di tempi di esposizione significativamente più lunghi rispetto alla fotografia diurna. [6]

Il livello di difficoltà successivo è dato dalla fotografia delle tracce stellari, o star trail, dove si sfrutta il movimento apparente delle stelle generato dalla rotazione terrestre. Si utilizza la stessa attrezzatura di base della fotografia delle costellazioni, integrando un telecomando per lo scatto a distanza e una potente batteria per sostenere esposizioni di diverse ore. [6]

Un ulteriore livello di difficoltà è dato dalla fotografia a grande campo con astroinseguitore, uno strumento che permette di compensare la rotazione terrestre, consentendo lunghe esposizioni e la cattura di un maggior numero di stelle. È necessario utilizzare una reflex o una mirrorless e un telecomando per le esposizioni prolungate sotto cieli molto bui e a una notevole distanza dai centri abitati. Una variante di questa tecnica è data dalla fotografia in parallelo, in cui viene montata la camera su un piccolo telescopio dotato montatura equatoriale motorizzata, per ottenere immagini ancora più stabili. [6]

Infine, la fotografia al telescopio, considerata la più articolata tra gli approcci, consente di immortalare oggetti del cielo profondo come galassie, nebulose e ammassi stellari, richiedendo pose che possono arrivare a molte ore, cieli estremamente scuri e una strumentazione avanzata, tra cui un telescopio, la fotocamera, la montatura. Le principali difficoltà sono dovute all'inseguimento della montatura, la lunghezza delle esposizioni e all'elevato ingrandimento prodotto dal telescopio. Viene introdotta il sistema di autoguida, in cui si utilizza una seconda camera di ripresa che monitora

costantemente la posizione di una stella guida, inviando correzioni alla montatura per mantenere l'inseguimento durante tutta la sessione. [6]

| Tipo di approccio | Strumentazione richiesta |
|--|---|
| Fotografia delle costellazioni | <ul style="list-style-type: none">• Fotocamera reflex• Treppiedi |
| Fotografia delle tracce stellari | <ul style="list-style-type: none">• Fotocamera reflex• Telecomando per lo scatto a distanza• Batteria• Treppiedi |
| Fotografia a grande campo con astroinseguitore | <ul style="list-style-type: none">• Fotocamera reflex o mirrorless• Telecomando per lo scatto a distanza• Astroinseguitore |
| Fotografia in parallelo | <ul style="list-style-type: none">• Fotocamera reflex o mirrorless• Telecomando per lo scatto a distanza• Piccolo telescopio• Montatura equatoriale |
| Fotografia al telescopio | <ul style="list-style-type: none">• Fotocamera reflex• Telecomando per lo scatto a distanza• Telescopio• Montatura• Camera di guida• Autoguida |

Tabella 1: Tabella riassuntiva della strumentazione necessaria in base all'approccio scelto.

La scelta della strumentazione è strettamente collegata al tipo di tecnica che si intende adottare: approcci di base come la fotografia delle costellazioni richiedono una strumentazione semplice, mentre metodi più avanzati implicano l'uso di strumenti specifici. Prediligere la strumentazione più appropriata consente non solo di affrontare le difficoltà tecniche, ma anche di massimizzare la qualità delle immagini raccolte.

Fotografia astronomica avanzata

La fotografia astronomica al telescopio rappresenta il punto di arrivo di un percorso che attraversa i diversi approcci dell'astrofotografia, consentendo di ottenere immagini dettagliate di oggetti del

cielo profondo. La strumentazione riveste un ruolo fondamentale e si distingue per complessità e specificità rispetto ai metodi più semplici.

Per ottenere immagini di qualità nella fotografia astronomica, è fondamentale compensare il moto apparente della sfera celeste dovuto alla rotazione terrestre. A tale scopo si impiegano montature equatoriali o astroinseguitori dedicati, la cui scelta dipende dal tipo di ripresa e dalle caratteristiche degli strumenti utilizzati.

Per la fotografia di grandi campi stellari con obiettivi a corta focale¹, inferiore a 200-300mm, risultano adeguati gli astroinseguitori compatti montabili su treppiedi fotografici standard. Questi dispositivi, pur offrendo una precisione di inseguimento limitata, sono sufficienti per compensare la rotazione celeste quando le focali ridotte determinano movimenti apparenti contenuti delle stelle sul sensore. Quando la lunghezza focale si estende a 300-400mm, come tipicamente avviene nella fotografia al telescopio, gli astroinseguitori semplici non garantiscono più la precisione necessaria. In questi casi è indispensabile l'utilizzo di una montatura equatoriale motorizzata su entrambi gli assi, ascensione retta e declinazione², caratterizzata da adeguata robustezza strutturale e dotata di porta autoguida. Quest'ultima permette di collegare un sistema di guida automatica che, monitorando in tempo reale la posizione della stella di riferimento, invia correzioni alla montatura per compensare errori periodici e imperfezioni dell'inseguimento, garantendo così la precisione richiesta dalle esposizioni prolungate. [6]

I **telescopi ottici** si suddividono in tre categorie principali in base al sistema ottico utilizzato per la raccolta della luce:

- Rifrattori, impiegano delle lenti come elemento primario;
- Riflettori: impiegano degli specchi;
- Catadiottrici: combinano sia specchi sia lenti per ottimizzare le prestazioni ottiche.

Nonostante le differenze costruttive, il principio di funzionamento è comune a tutte le configurazioni: la luce raccolta viene convogliata e focalizzata in un punto, denominato fuoco, dove può essere analizzata mediante un oculare per l'osservazione visuale o registrata attraverso un sensore fotografico. [7]

¹ La focale, o la lunghezza focale, indica la distanza dal fuoco dell'obiettivo o del telescopio, determinando la capacità di ingrandimento e l'ampiezza del campo visivo [7]

² Ascensione retta (AR) e declinazione (DEC) sono coordinate celesti analoghe a longitudine e latitudine terrestri.

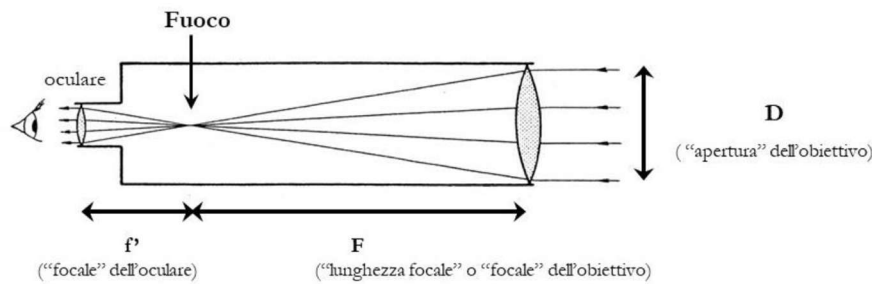


Figura 1: Schema ottico di un rifrattore. Fonte: G. Cutispoto, Telescopi astronomici, 2012. Consultato il 20/10/2025

Per la fotografia degli oggetti del profondo cielo, la scelta dello strumento deve rispondere a requisiti specifici, differenti da quelli dell'osservazione visuale. È preferibile impiegare telescopi caratterizzati da un'elevata apertura relativa³ e da un basso rapporto focale, che consentono tempi di esposizione più brevi a parità di segnale raccolto. Il diametro assoluto dello strumento, pur rimanendo importante, assume un ruolo secondario rispetto al rapporto focale, poiché la minore luminosità di un'apertura ridotta può essere compensata mediante esposizioni prolungate. [6]

Un ulteriore vincolo pratico è rappresentato dalle condizioni osservative reali. La turbolenza atmosferica, denominata seeing, e i limiti di precisione delle montature equatoriali di fascia economica rendono generalmente poco vantaggioso l'utilizzo di telescopi con lunghezza focale superiore a 1,5 metri, oltre i quali aumentano significativamente le difficoltà e gli effetti della turbolenza atmosferica sulla risoluzione effettiva dell'immagine. [6]

Nella fascia degli strumenti di piccolo-medio diametro, i **telescopi rifrattori apocromatici**⁴ rappresentano una scelta superiore rispetto ai comuni teleobiettivi fotografici. Sebbene questi ultimi possano apparire come un'alternativa economica, presentano limitazioni significative per l'uso astronomico. I rifrattori apocromatici sono infatti progettati specificatamente per correggere le aberrazioni ottiche che diventano critiche nella ripresa di sorgenti puntiformi a basso contrasto, come stelle e nebulose. I teleobiettivi tradizionali, al contrario, sono ottimizzati per soggetti terrestri con caratteristiche fotometriche e geometriche profondamente diverse, e non garantiscono la stessa qualità d'immagine su tutto il campo quando applicati in astrofotografia. [6]

Per l'acquisizione di immagini astronomiche al telescopio si impiegano principalmente due categorie di fotocamere: le reflex digitali (DSLR) e le camere CCD dedicate all'uso astronomico. Ciascuna presenta caratteristiche tecniche, vantaggi e limitazione specifiche che ne determinano l'idoneità in base agli obiettivi osservativi e alle condizioni operative.

³ L'apertura relativa è il rapporto tra il diametro dell'obiettivo e la lunghezza focale (es. $f/5$).

⁴ I sistemi apocromatici sono sistemi ottici che correggono le aberrazioni cromatiche su tre lunghezze d'onda.

Le **reflex digitali** rappresentano la soluzione più accessibile per l'astrofotografia, sebbene siano originariamente progettate per la fotografia diurna e calibrate per restituire colori coerenti con la percezione visiva umana. Questa caratteristica costituisce una limitazione significativa in ambito astronomico: per catturare efficacemente le emissioni delle nebulose, in particolare la riga H-alpha a 656,3 nm (invisibile a occhio umano), è necessario sottoporre il sensore a una modifica specifica che rimuova il filtro IR-cut di fabbrica. Dal punto di vista operativo, le reflex richiedono alcuni accessori essenziali: un telecomando per lo scatto remoto, che minimizza le vibrazioni durante l'esposizione, e batterie di riserva per garantire l'autonomia durante le sessioni fotografiche prolungate. Il collegamento al telescopio avviene mediante appositi adattatori T-ring e T2, mentre l'interfacciamento con un computer, tramite software dedicati, consente il controllo remoto degli scatti e delle impostazioni, risultando particolarmente utile nelle configurazioni con autoguida. [6]

Le **camere CCD** dedicate all'astronomia offrono prestazioni superiori sotto ogni aspetto tecnico rilevante. A differenza delle reflex, sono progettate specificatamente per operare in condizioni di bassa luminosità, senza i compromessi imposti dall'elettronica destinata all'uso fotografico. La qualità, la sensibilità, la dinamica e la pulizia dell'immagine risultano nettamente superiori rispetto alle DSLR. Il principale vantaggio delle camere CCD risiede nel sistema di raffreddamento attivo del sensore, che può abbassare la temperatura fino a 40°C al di sotto di quella ambiente, mantenendola stabile mediante controllo elettronico. Questa caratteristica riduce drasticamente il rumore termico e facilita l'acquisizione dei dark frame necessari per la calibrazione delle immagini. L'elettronica di controllo dedicata garantisce inoltre livelli di rumore inferiori e una maggiore stabilità nel tempo rispetto alle reflex. Dal punto di vista della risoluzione, le camere CCD presentano sensori con un numero di pixel significativamente inferiore rispetto alle DSLR. Questa apparente limitazione è in realtà un vantaggio per specifiche applicazioni: i pixel più grandi assicurano una sensibilità superiore, rendendo questi dispositivi indicati per la ripresa di oggetti deboli e angolarmente piccoli, dove la sensibilità prevale sulla risoluzione spaziale. Le camere CCD richiedono tuttavia un'infrastruttura più complessa: è necessaria la connessione permanente a un computer per il controllo e l'acquisizione delle immagini, oltre a un'alimentazione elettrica stabile per il funzionamento del sistema di raffreddamento e dell'elettronica di controllo. [6]

La scelta tra reflex digitali e camere CCD dipende principalmente da due fattori: il budget disponibile e la disponibilità di alimentazione elettrica. Le reflex rappresentano una soluzione economicamente più accessibile e offrono maggiore autonomia operativa, risultando adatte per

l'astrofotografia amatoriale e per sessioni osservative in siti remoti. Le camere CCD, pur richiedendo un investimento maggiore e una logistica più articolata, garantiscono prestazioni tecniche superiori, indispensabili per applicazioni che richiedono elevata sensibilità e qualità dell'immagine. [6]

La selezione della strumentazione astrofotografica più adatta richiede una valutazione ponderata di molteplici fattori:

- Tipo di fotografia: la fotografia a grande campo di regioni di stelle e nebulose richiede strumenti con focali brevi e ampi campi inquadrati, mentre la ripresa di galassie o nebulose di piccole dimensioni angolari necessitano di lunghezze focali maggiori e sensori ad alta sensibilità;
- Budget disponibile: è necessario bilanciare le aspirazioni qualitative con le risorse disponibili;
- Qualità del cielo: in presenza di inquinamento luminoso, l'utilizzo di filtri a banda stretta e di sensori monocromatici ad alta dinamica diventa essenziale per isolare il segnale degli oggetti celesti dal fondo brillante; invece, da siti con cieli bui e trasparenti è possibile sfruttare appieno la strumentazione meno specializzata. Inoltre, la turbolenza atmosferica locale, detta seeing, condiziona la scelta della lunghezza focale massima utilizzabile;
- Possibilità di trasporto: configurazioni compatte e leggere, basate su piccoli rifrattori e montature portatili, consentono di raggiungere siti osservativi remoti con cieli di qualità superiore.

La strumentazione astrofotografica rappresenta quindi un sistema integrato in cui ogni componente deve essere selezionata in funzione degli altri elementi e degli obiettivi prefissati.

Osservatorio astronomico G.V. Schiaparelli

Si presenta la configurazione del sistema di astrofotografia dell'Osservatorio astronomico G.V. Schiaparelli di Varese, che costituisce un esempio rappresentativo di strumentazione amatoriale avanzata. La configurazione comprende:

- Telescopio Celestron C14 con correttore di coma
- Focheggiatore
- Sistema di filtri automatico (ruota portafiltri)
- Sensore astrofotografico CCD monocromatico
- Montatura equatoriale a due assi motorizzati

Il telescopio **Celestron C14** appartiene alla famiglia dei telescopi Schmidt-Cassegrain, strumenti catadiottrici che combinano lo schema ottico di un riflettore Cassegrain con una lastra correttiva di Schmidt posizionata all'ingresso del tubo ottico.



Figura 2: Telescopio Celestron C14, Osservatorio Astronomico G.V. Schiaparelli. Fonte: fotografia dell'autore, 02/08/2025.

Il **foceggiatore** è il dispositivo che consente la regolazione della posizione del piano focale rispetto al sensore, indispensabile per ottenere immagini nitide. I foceggiatori possono essere di tipo manuale o motorizzato, quest'ultima preferibile in astrofotografia permettendo regolazioni precise senza l'introduzione di vibrazioni meccaniche. La necessità di una messa a fuoco dinamica deriva dal fatto che la posizione del piano focale può variare a causa della dilatazione termica differenziale dei componenti ottici e meccanici al variare della temperatura ambiente. [8]

Tra il foceggiatore e il sensore CCD è installato un sistema automatico di gestione dei filtri, comunemente denominato **ruota portafiltri**, che consente l'inserimento programmato di filtri ottici. Questo dispositivo risulta essenziale nell'astrofotografia con sensori monocromatici per

l'acquisizione selettiva di diverse componenti spettrali dell'immagine. I principali tipi di filtri utilizzati sono:

- Filtri RGB (Red, Green, Blue): impiegati con sensori monocromatici per acquisire separatamente le tre componenti cromatiche fondamentali, successivamente ricombinate in fase di elaborazione per la ricostruzione dell'immagine a colori naturali.
- Filtri a banda larga (broadband): permettono il passaggio di un'ampia porzione dello spettro visibile, escludendo selettivamente lunghezze d'onda specifiche. Adatti per la ripresa di oggetti celesti di debole luminosità superficiale in presenza di un moderato inquinamento luminoso.
- Filtri a banda stretta (narrowband): trasmettono esclusivamente porzioni limitate dello spettro, tipicamente con larghezza della banda inferiore a 10nm, corrispondenti alle righe di emissione H-alpha (656,3 nm), O-III (495,9 e 500,7 nm) e S-II (671,6 nm). Questi filtri isolano efficacemente il segnale proveniente dalle nebulose a emissione e dall'inquinamento luminoso. [9]

Il **sensore astrofotografico CCD monocromatico** registra l'intera intensità luminosa su ciascun pixel senza compromessi cromatici. L'utilizzo combinato con la ruota portafiltri consente di acquisire separatamente diverse lunghezze d'onda specifiche, mantenendo la massima risoluzione e sensibilità del sensore.

La montatura utilizzata dall'Osservatorio Schiaparelli è una montatura equatoriale motorizzata su entrambi gli assi, in cui si ha l'allineamento dell'asse principale (AR) con l'asse di rotazione terrestre, ottenuto inclinando opportunamente la struttura in modo che risulti in parallelo all'equatore celeste.⁵ Il motore AR compensa la rotazione terrestre con un movimento continuo, mentre il motore in DEC interviene per applicare correzioni necessarie a mantenere l'oggetto perfettamente centrato. [10]

Acquisizione iniziale delle immagini

[In corso...]

⁵ L'equatore celeste è la proiezione dell'equatore terrestre sulla sfera celeste, costituendo il piano di riferimento del sistema di coordinate equatoriali utilizzato per la localizzazione degli oggetti celesti.