

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE TEORICHE E APPLICATE  
CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA



**UTILIZZO DI MODELLI DI DEEP LEARNING  
NELL'ELABORAZIONE DI IMMAGINI  
ASTRONOMICHE**

MT. 736610

Frattoni Gaia

Anno accademico 2025/2026







# Indice dei contenuti

<b>UTILIZZO DI MODELLI DI DEEP LEARNING NELL'ELABORAZIONE DI IMMAGINI ASTRONOMICHE.....</b>	<b>I</b>
<b>INDICE DEI CONTENUTI.....</b>	<b>1</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1 ASTROFOTOGRAFIA .....</b>	<b>3</b>
1.1 ATTREZZATURA TECNICA .....	3
1.2 ACQUISIZIONE INIZIALE DELLE IMMAGINI.....	3
1.2.1 Condizioni ambientali.....	4
1.2.2 Metodi di acquisizione .....	10
1.2.3 Sistemi di inseguimento.....	10
1.2.4 Difetti strutturali.....	11
1.3 PROCESSO DI ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI .....	14
1.3.1 Fase 1: acquisizione dal telescopio .....	14
1.3.2 Fase 2: correzione dei difetti .....	14
1.3.3 Fase 3: i colori.....	15
1.3.4 Immagine elaborata.....	15
<b>CAPITOLO 2 MACHINE LEARNING .....</b>	<b>16</b>
2.1 INTRODUZIONE AL MACHINE LEARNING.....	16
2.2 DAL MACHINE LEARNING AL DEEP LEARNING.....	16
2.3 ARCHITETTURE PRINCIPALI PER L'ELABORAZIONE DI IMMAGINI.....	16
2.3.1 Convolutional Neural Networks (CNN) .....	16
2.4 APPLICAZIONI DEL DEEP LEARNING IN ASTRONOMIA .....	17
<b>CAPITOLO 3 SUPER RESOLUTION.....</b>	<b>19</b>

---

3.1 COS'È LA SUPER RESOLUTION.....	19
3.2 TECNICHE TRADIZIONALI VS APPROCCI BASATI SU DEEP LEARNING .....	19
3.3 MODELLI DI SUPER RESOLUTION: SRCNN, ESRGAN, EDSR, ALTRI ESEMPI.....	19
3.4 CASO SPERIMENTALE .....	20
3.4.1 Descrizione del dataset.....	20
3.4.2 Preprocessing delle immagini astronomiche.....	20
3.4.3 Addestramento del modello .....	20
3.4.4 Valutazione dei risultati.....	20
3.4.5 Confronto con immagini non elaborate.....	20
3.5 Limiti e possibili sviluppi.....	20
<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>21</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI.....</b>	<b>22</b>

---



## Indice delle figure

Figura 1: Telescopio Celestron C14, Osservatorio Astronomico G.V. Schiaparelli. Fonte: fotografia dell'autore, 02/08/2025.	3
Figura 2: Scala di Bortle. Fonte: <a href="https://www.tensixphotography.com/eclipse-blog/frlju22fyq0drtkg3s9nt4jzzujene">https://www.tensixphotography.com/eclipse-blog/frlju22fyq0drtkg3s9nt4jzzujene</a> , consultato il 13/08/2025.	5
Figura 3: Astrofotografia e inquinamento luminoso: confronto tra le due immagini. Fonte: <a href="https://www.primalucelab.it/blog/astrofotografia-ed-inquinamento-luminoso-astrophotography-and-light-pollution/">https://www.primalucelab.it/blog/astrofotografia-ed-inquinamento-luminoso-astrophotography-and-light-pollution/</a> , consultato il 23/08/2025.	6
Figura 4: Livello di inquinamento luminoso all'Osservatorio Schiaparelli di Varese. Fonte: <a href="https://lightpollutionmap.app/it/?lat=45.878521&amp;lng=8.898014&amp;zoom=9">https://lightpollutionmap.app/it/?lat=45.878521&amp;lng=8.898014&amp;zoom=9</a> , consultato il 23/08/2025.	6
Figura 5: Scala di Antoniadi. Fonte: <a href="https://sky-route.ru/shkala-antoniadi/">https://sky-route.ru/shkala-antoniadi/</a> , consultato il 23/09/2025.	8
Figura 6: Scala di Pickering. Fonte: <a href="https://www.cloudynights.com/topic/349405-pickerings-seeing-scale/">https://www.cloudynights.com/topic/349405-pickerings-seeing-scale/</a> , consultato il 23/09/2025.	8
Figura 7: Misurazione delle condizioni astronomiche a Varese il 23/09/2025 alle 16:00. Fonte: <a href="https://jaglab.org/astro-forecast/">https://jaglab.org/astro-forecast/</a> , consultato il 23/09/2025.	9
Figura 8: Manifestazione della Coma. Fonte: <a href="https://www.fotografareindigitale.com/cose-la-coma/23900">https://www.fotografareindigitale.com/cose-la-coma/23900</a> , consultato il 24/09/25	12
Figura 9: Deformazioni geometriche causate dalla distorsione. Fonte: <a href="https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione_(ottica)">https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione_(ottica)</a> , consultato il 24/09/25	13

---

# INTRODUZIONE

[Introduzione all'utilizzo dell'intelligenza artificiale in età contemporanea]

Gli ultimi anni hanno visto un sempre più crescente utilizzo dell'intelligenza artificiale, arrivando a essere applicata in diversi campi industriali, accademici, fino ad entrare nella quotidianità delle persone. Nonostante le sue potenzialità, l'intelligenza artificiale presenta ancora diverse lacune, le quali hanno portato all'apertura di diversi dibattiti riguardo il suo impiego in diversi settori.

[Introduzione all'astrofotografia]

L'astronomia è una disciplina in cui la correttezza e l'integrità dei dati sono di fondamentale importanza e, nonostante abbia contribuito a rivoluzionare questo campo, se si considera in particolare l'astrofotografia, l'introduzione dell'intelligenza artificiale è ancora oggetto di dibattito a causa della possibilità non remota dell'introduzione di dati falsati durante il processo di elaborazione delle immagini.

[Introduzione al machine learning]

[Introduzione al progetto con citazioni a collaborazioni esterne]

Il seguente elaborato andrà ad illustrare il procedimento di analisi ed elaborazione delle immagini nell'astrofotografia e come l'introduzione di modelli di deep learning potrebbe migliorare tale processo. Le immagini ottenute da osservazioni astronomiche sono soggette a limitazioni e difetti dovuti all'ambiente nel quale vengono acquisite.

---

La super-resolution si propone come tecnica di ricostruzione e miglioramento immagini a partire dall'immagine degradata, permettendo un'analisi più efficace e una migliore interpretazione dei dati.

# **CAPITOLO 1**

## **ASTROFOTOGRAFIA**

Introdotta per la prima volta nel 1850, da George P. Bond<sup>1</sup>, l'applicazione della fotografia in campo astronomico si è dimostrata rivoluzionaria per lo sviluppo dell'astronomia. 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 si ripromette di raggiungere scopi ben più ambiziosi della fotografia classica. I soggetti principali dell'obiettivo di un astrofotografo richiedono una preparazione più complessa, in quanto la luminosità limitata, la distanza e l'atmosfera sono solo alcuni degli ostacoli contro cui la camera deve scontrarsi.

### **1.1 Attrezzatura tecnica**

### **1.2 Acquisizione iniziale delle immagini**

L'acquisizione di un'immagine astronomica richiede una preparazione più complessa per poter acquisire l'immagine del soggetto desiderato. I segnali luminosi emessi dai corpi celesti sono estremamente più deboli e facilmente influenzabili dall'atmosfera terrestre, rendendo le condizioni ambientali uno dei fattori chiave per

---

la qualità delle riprese; come anche i limiti dell'attrezzatura utilizzata, come le aberrazioni ottiche e l'utilizzo di sensori con una sensibilità inadeguata; il movimento degli oggetti che richiede l'utilizzo di riprese multiple per la riduzione del rumore e sistemi di inseguimento per le esposizioni più lunghe.

### 1.2.1 Condizioni ambientali

L'astrofotografia permette di raggiungere risultati impressionanti in condizioni ideali. Per ottenere tali condizioni per la fotografia del cielo notturno, è necessario tenere conto di alcuni fattori ambientali, come l'inquinamento luminoso e le condizioni meteorologiche, e tecnici, come le aberrazioni ottiche o difetti nell'attrezzatura, per garantire un esito positivo nell'acquisizione ma anche nella successiva elaborazione.<sup>6</sup>

**L'inquinamento luminoso** è il primo ostacolo che un astrofotografo deve affrontare per ottenere fotografie del cielo notturno. A differenza del rumore, che è trattabile tramite la fase di calibrazione, l'inquinamento luminoso è più difficile da rimuovere, si mescola con il segnale del soggetto della fotografia, saturando il sensore e riducendo la sua capacità di raccogliere il segnale<sup>7</sup>.

La qualità di una fotografia astronomica dipende in modo indissolubile dalla qualità del cielo, portando necessariamente alla creazione di diversi metodi per la misurazione e classificazione del cielo e del suo inquinamento luminoso, come la scala di Bortle<sup>8</sup> o lo Sky Quality Meter (SQM).

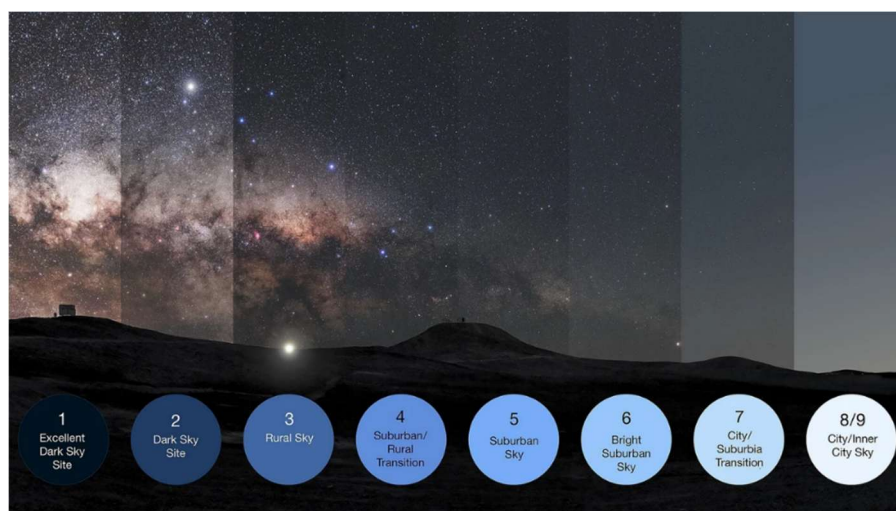


Figura 2: Scala di Bortle. Fonte: <https://www.tensixphotography.com/eclipse-blog/frlju22fyq0drtkg3s9nt4jzzujene>, consultato il 13/08/2025.

La **Scala di Bortle** è un metodo di classificazione composto da nove classi, in cui la classe uno presenta le condizioni di maggior oscurità verificabile, la luminosità aumenta fino ad arrivare alla classe nove, la quale indica il cielo dei grandi centri urbani dove è difficilmente possibile distinguere anche le stelle più luminose.

Lo **Sky Quality Meter** è uno strumento che utilizza un sensore CCD per misurare in tempo reale la luminosità del cielo nelle ore notturne, calcolando la magnitudine<sup>5</sup> per arco secondo quadrato, ovvero un quadrato di cielo con un lato pari ad un arco secondo di grado.<sup>9</sup> Il valore della magnitudine è inversamente proporzionale alla luminosità del cielo, maggiore è la magnitudine, minore è la luminosità presente.

Un esperimento effettuato da *PrimaLuce Lab* nel 2018<sup>10</sup>, evidenzia gli effetti dell'inquinamento luminoso nell'acquisizione delle immagini: sono state effettuate due acquisizioni della *nebulosa Pellicano (IC5070)* nella *costellazione del Cigno* in due ambienti differenti. Il primo luogo a basso inquinamento luminoso, sulle Prealpi a 700m sul livello del mare, con un valore dell'SQM di 20.8. Il secondo luogo, in

---

<sup>5</sup> Unità di misura che indica la luminosità dei corpi celesti.

pianura, presentava un valore dell'SQM DI 19.4, mostrando la presenza di maggiore inquinamento luminoso.

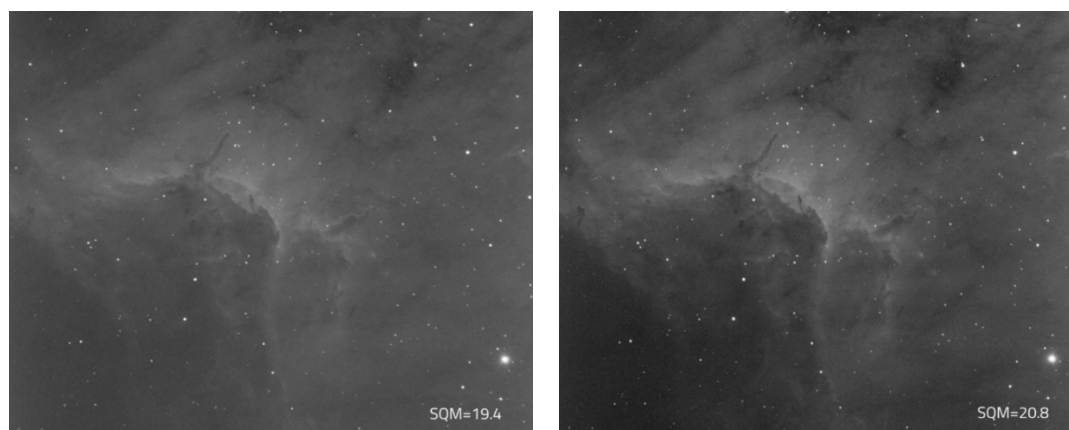


Figura 3: Astrofotografia e inquinamento luminoso: confronto tra le due immagini. Fonte: <https://www.primalucelab.it/blog/astrofotografia-ed-inquinamento-luminoso-astrophotography-and-light-pollution/>, consultato il 23/08/2025.

La sovrapposizione delle due immagini ha mostrato una migliore definizione dei contorni e nitidezza dei dettagli nell'immagine con un valore migliore di SQM.

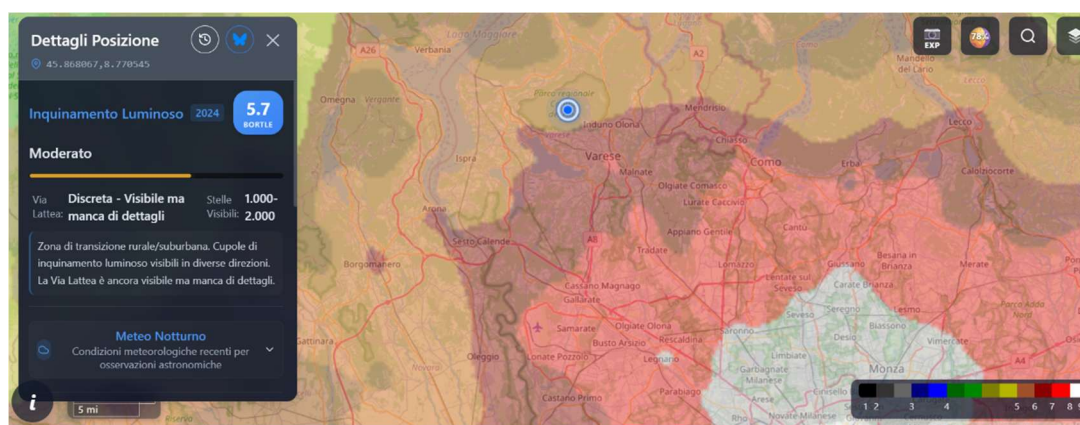


Figura 4: Livello di inquinamento luminoso all'Osservatorio Schiaparelli di Varese. Fonte: <https://lightpollutionmap.app/it/?lat=45.878521&lng=8.898014&zoom=9>, consultato il 23/08/2025.

È possibile visualizzare mappe della distribuzione dell'inquinamento luminoso attraverso la consultazione di mappe interattive che utilizzano dati satellitari per classificare la luminosità del cielo attraverso i colori, dal nero al bianco, che indicano i diversi livelli di inquinamento.

---

Un ulteriore ostacolo proveniente dall'ambiente esterno sono le **condizioni meteorologiche** da cui l'astrofotografia dipende strettamente, in quanto la limpidezza del cielo e le sue condizioni atmosferiche sono fondamentali per determinare la qualità dell'acquisizione.<sup>11</sup>

La presenza di foschia, nebbia e la formazione di nuvole comportano una riduzione della *radiazione elettromagnetica* proveniente dai corpi celesti, diminuendo il contrasto e la luminosità apparente su cui si basano le acquisizioni astrofotografiche, limitando in modo importante l'esito di ogni acquisizione.

Le precipitazioni meteorologiche introducono interferenze nel processo di acquisizione, in quanto la presenza di acqua nell'atmosfera altera il segnale ricevuto dal sensore, rendendo impossibile la cattura del soggetto.<sup>2</sup>

La presenza di *turbolenze atmosferiche*, con spostamenti di grandi masse d'aria di diverse temperature influenza ulteriormente la qualità dell'acquisizione, causando distorsioni delle immagini che cambiano rapidamente, impossibilitando il processo di acquisizione multipla utilizzato spesso in campo astronomico.

Sia l'inquinamento luminoso sia le condizioni meteorologiche possono essere racchiusi nel concetto di “**Seeing**”, utilizzato in astronomia per indicare le condizioni del cielo osservato, descrivendo quanto l'atmosfera terrestre possa influenzare l'immagine a causa delle turbolenze atmosferiche o della temperatura.<sup>12</sup>

Viene influenzato dalle condizioni meteo, umidità, temperatura e dalla posizione geografica e la sua altitudine.

La valutazione del Seeing avviene attraverso l'utilizzo di due scale di misurazione.

13

La **scala di Antoniadi**, utilizzata nell'osservazione planetaria, utilizza una suddivisione da I a V dove I indica il seeing ideale:

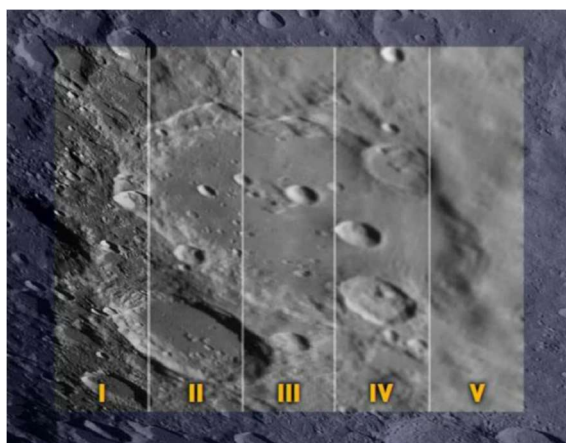


Figura 5: Scala di Antoniadi. Fonte: <https://sky-route.ru/shkala-antoniadi/>, consultato il 23/09/2025.

- I. Visibilità perfetta, assenza di tremolii
- II. Leggeri tremolii con momenti stabili che durano anche alcuni secondi.
- III. Visione media, tremolii di media durata
- IV. Visibilità scarsa, presenza di lunghi tremolii nell'immagine
- V. Visibilità pessima, vibrazioni continue

La **scala di Pickering**, utilizzata nell'osservazione del profondo cielo, suddivisa in livelli da 1 a 10, più rigida della scala di Antoniadi, si basa sull'immagine di diffrazione delle stelle:

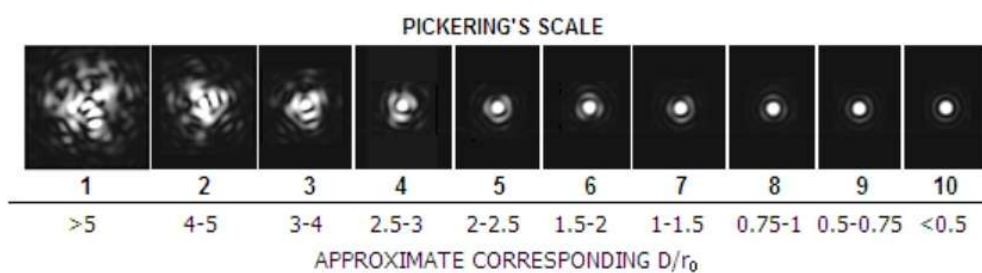


Figura 6: Scala di Pickering. Fonte: <https://www.cloudynights.com/topic/349405-pickering-seeing-scale/>, consultato il 23/09/2025.

- 1. Immagine pessima, i dischi di diffrazione sono impastati e non definiti.
- 2. Immagine molto cattiva, il disco di diffrazione resta molto impastato.
- 3. Immagine cattiva, si iniziano a intravedere i dischi di diffrazione.

4. Immagine appena sufficiente, i dischi iniziano a essere visibili a tratti.
5. Immagine discreta, visibili i dischi di diffrazione con una certa continuità.
6. Immagine buona, i dischi di diffrazione sono ben visibili, anche se vibrano.
7. Immagine molto buona, dischi visibili con una certa continuità.
8. Immagine ottima, si distinguono chiaramente tutti i dischi di diffrazione.
9. Immagine quasi perfetta, ma gli anelli esterni vibrano leggermente.
10. Immagine perfetta, gli anelli di diffrazione sono nitidi e molto ben visibili.

Numerose pagine web mettono a disposizione tool per la misurazione del seeing astronomico in previsione e in tempo reale. Ad esempio, lo strumento di misurazione delle condizioni astronomiche messo a disposizione all'URL <https://jaglab.org/astro-forecast/> permette di visualizzare dati come la copertura delle nuvole, la velocità del vento, la temperatura e il seeing in base alle coordinate geografiche e all'orario inserito.

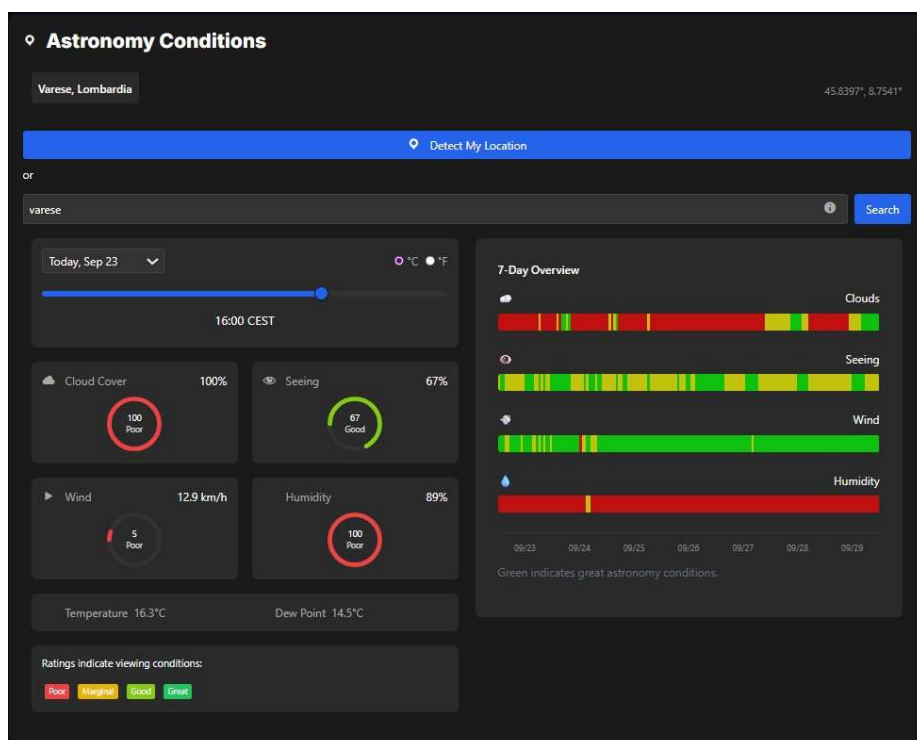


Figura 7: Misurazione delle condizioni astronomiche a Varese il 23/09/2025 alle 16:00. Fonte: <https://jaglab.org/astro-forecast/>, consultato il 23/09/2025.

---

L'utilizzo di scale di misurazioni a colori rende la visione dei dati intuitiva anche per gli utenti meno esperti, favorendo la comprensione delle condizioni astronomiche.

## 1.2.2 Metodi di acquisizione

Esistono diversi metodi di un'immagine astronomica, ogni oggetto celeste ha la modalità di acquisizione più appropriata per essere catturato, ognuna le proprie caratteristiche, vantaggi e svantaggi.

### ***Long Exposure***

<https://astrophotoguru.com/long-exposures-or-short-exposures/>

### ***Short exposure stacking***

<https://astrophotoguru.com/long-exposures-or-short-exposures/>

Stacking -> miglioramento segnale rumore

<https://fotografiamoderna.it/astrofotografia/>

### ***Multiple Frames - Lucky imaging***

[https://it.wikipedia.org/wiki/Lucky\\_imaging](https://it.wikipedia.org/wiki/Lucky_imaging)

### ***Narrowband imaging***

<https://astrobackyard.com/narrowband-imaging/>

### ***Wide-field / milky way imaging***

<https://www.highpointscientific.com/astronomy-hub/post/astro-photography-guides/how-to-photograph-milky-way>

## 1.2.3 Sistemi di inseguimento

<https://www.astroshop.it/rivista/la-conoscenza/astrofotografia/astrofotografia-per-principianti/i,1079>

---

## 1.2.4 Difetti strutturali

L'astrofotografia permette di raggiungere risultati impressionanti in condizioni ideali. Per ottenere tali condizioni per la fotografia del cielo notturno, è necessario tenere conto di alcuni fattori ambientali, come l'inquinamento luminoso e le condizioni meteorologiche, e tecnici, come le aberrazioni ottiche o difetti nell'attrezzatura, per garantire un esito positivo nell'acquisizione ma anche nella successiva elaborazione.<sup>14</sup>

[Introduzione ai difetti dell'attrezzatura]

Le **aberrazioni ottiche** vengono definite, in ambito strumentale astronomico, come difetti del sistema ottico che impediscono allo strumento di soddisfare determinati requisiti di qualità, quali nitidezza dell'immagine, corrispondenza tra i punti dell'immagine e i punti dell'oggetto e l'assenza di aberrazione cromatica<sup>15</sup>. Anche in presenza di lenti otticamente perfette, possono manifestarsi aberrazioni ottiche, in quanto un fascio di luce non monocromatico che attraversa il sistema ottico, crea sempre percorsi diversi che distorcono l'immagine finale compromettendone la qualità. Si suddividono principalmente in due macrocategorie:

- Aberrazioni assiali – presenti sull'asse ottico principale, come le aberrazioni sferiche e aberrazioni cromatiche;
- Aberrazioni extra-assiali – presenti nelle aree periferiche del campo visivo, come coma, astigmatismo, distorsione e curvatura del campo.

Le *aberrazioni sferiche* si verificano quando i raggi di luce marginali provenienti da una sorgente monocromatica, non convergono nello stesso punto ma si distribuiscono nel suo intorno, causando una perdita di nitidezza e creando un'immagine sfocata. Le aberrazioni sferiche sono tra le più comuni aberrazioni presenti in astrofotografia, il *Telescopio Spaziale Hubble* (HST) presentò, dopo il lancio dell'Aprile 1990, problemi di aberrazione sferica dovuti a un errore di assemblaggio di un componente dello specchio primario, corretto solo successivamente durante la missione del dicembre 1993.<sup>16</sup>

---

Le *aberrazioni cromatiche* sono dovute a una caratteristica intrinseca dei sistemi ottici che comporta diverse distanze focali per ciascun componente spettrali, causando la manifestazione di aloni intorno agli oggetti astronomici.

Una delle aberrazioni extra-assiali su cui è necessario mostrare maggiore attenzione durante l'osservazione del cielo profondo è l'*aberrazione comatica*<sup>17</sup> o *coma*, che causa una deformazione delle stelle puntiformi in forme allungate, dando loro il caratteristico aspetto *a cometa* da cui prende il nome.<sup>18</sup>

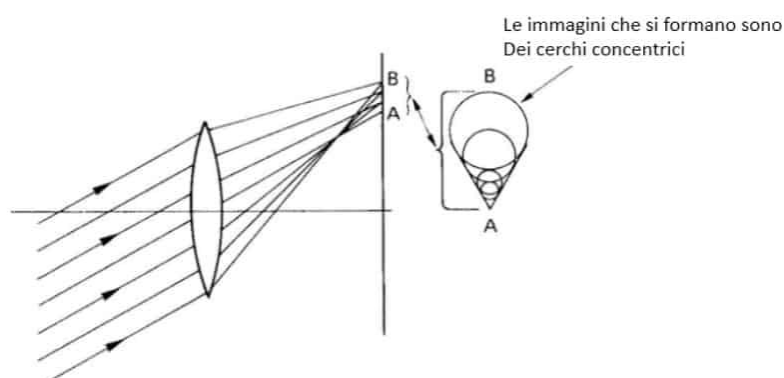


Figura 8: Manifestazione della Coma. Fonte: <https://www.fotografareindigitale.com/cose-la-coma/23900>, consultato il 24/09/25

Il Coma è una aberrazione comune nelle lenti fotografiche e dei telescopi, è facilmente individuabile osservando come le stelle che appaiono puntiformi al centro dell'immagine tendano ad assumere una forma allungata lungo i bordi. A differenza dell'aberrazione cromatica, il coma è un'aberrazione che si manifesta in fase di acquisizione e quindi non removibile in fase di elaborazione, danneggiando l'immagine in modo permanente. Si può utilizzare un obiettivo con migliori caratteristiche di prestazione del coma oppure ridurre l'apertura dell'obiettivo permette di bloccare i raggi luminosi provenienti dai bordi esterni delle lenti, diminuendo l'aberrazione comatica.<sup>19</sup>

L'*astigmatismo*, in astronomia, si manifesta nella deformazione delle stelle puntiformi in segmenti allungati orientati in modo differente in base alla posizione del campo visivo, compromettendo le misurazioni in astrometria e fotometria di precisione.

---

Infine, la *curvatura del campo* impedisce la messa a fuoco dell'immagine intera, rendendo impossibile ottenere simultaneamente un'immagine nitida sia al centro sia ai bordi del campo visivo, mentre la *distorsione* altera la geometria degli oggetti.

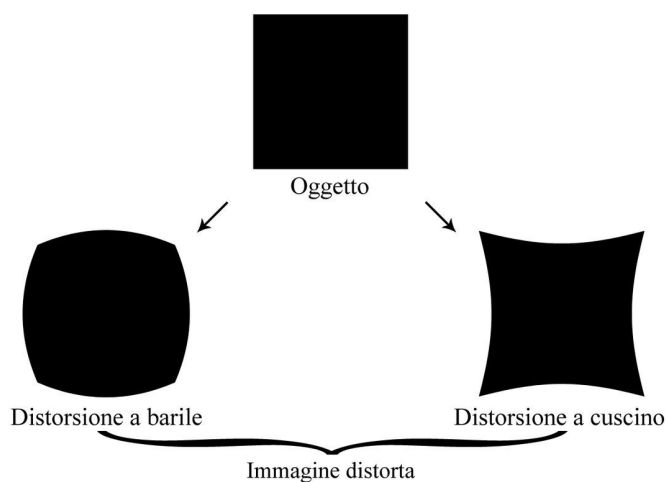


Figura 9: Deformazioni geometriche causate dalla distorsione. Fonte:

[https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione\\_\(ottica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione_(ottica)), consultato il 24/09/25

La *distorsione a barile* è un tipo di distorsione che si manifesta in presenza di lunghezze focali corte, dove l'immagine tende a gonfiarsi e arrotondarsi, è particolarmente problematica nei sistemi ottici grandangolari delle riprese panoramiche. Invece, la *distorsione a cuscino* è meno comune, si manifesta in presenza di lunghezze focali lunghe, dove l'ingrandimento aumenta ai bordi dell'immagine. Entrambe le aberrazioni sono strettamente collegate alla lunghezza focale, quanto maggiore è la lunghezza focale, tanto maggiore sarà l'effetto dell'aberrazione.<sup>20</sup>

Le aberrazioni sono un fattore limitante per ottenere un buon livello di qualità nelle immagini astronomiche. La correzione attraverso l'utilizzo di sistemi ottici appropriati è un requisito fondamentale per ottenere una buona immagine finale.

Un'altra difficoltà tecnica che si deve affrontare nel contesto di un'osservazione astronomica è la **collimazione tra specchi e lenti**. La collimazione solitamente avviene in fabbrica e questo rende difficilmente correggibile in caso di difetti. I comuni obiettivi a lente sono corretti per il coma, il disallineamento tra l'asse ottico

---

dell'obiettivo e quello del tubo si presenta come un astigmatismo a centro campo. Per controllare lo stato dell'allineamento è necessario controllare i riflessi di un raggio di luce sulle superfici dell'obiettivo, rimanendo comunque difficilmente applicabile nelle lenti spaziate in olio e con quindi riflessi molto deboli.<sup>21</sup>

Infine, i **difetti di torsione** sono deformazioni della struttura del telescopio che compromettono la stabilità dello strumento durante gli inseguimenti astronomici, introducendo perdite di nitidezza nelle immagini e stelle di forma allungata durante le lunghe esposizioni.

## 1.3 Processo di elaborazione delle immagini

...

### 1.3.1 Fase 1: acquisizione dal telescopio

...

### 1.3.2 Fase 2: correzione dei difetti

Fase di calibrazione

Averaging

Dark frame

Bias frame

Flat frame

[https://affinity.help/photo2/it.lproj/index.html?page=pages/Astrophotography/astro\\_about.html&title=Informazioni%20sullo%20stacking%20per%20l%E2%80%99astrofotografia](https://affinity.help/photo2/it.lproj/index.html?page=pages/Astrophotography/astro_about.html&title=Informazioni%20sullo%20stacking%20per%20l%E2%80%99astrofotografia)

---

### **1.3.3 Fase 3: i colori**

Filtri RGB

Filtri narrow band

### **1.3.4 Immagine elaborata**

...

---

# **CAPITOLO 2**

# **MACHINE LEARNING**

<https://www.ibm.com/it-it/think/topics/machine-learning>

<https://www.intelligenzaartificiale.it/>

Stesura

## **2.1 Introduzione al Machine Learning**

## **2.2 Dal Machine Learning al Deep Learning**

## **2.3 Architetture principali per l'elaborazione di immagini**

### **2.3.1 Convolutional Neural Networks (CNN)**

---

## **2.4 Applicazioni del Deep Learning in astronomia**



# **CAPITOLO 3**

## **SUPER RESOLUTION**

Stesura

### **3.1 Cos'è la Super Resolution**

### **3.2 Tecniche tradizionali vs approcci basati su Deep Learning**

### **3.3 Modelli di Super Resolution: SRCNN, ESRGAN, EDSR, altri**

---

**esempi**

## **3.4 Caso sperimentale**

### **3.4.1 Descrizione del dataset**

### **3.4.2 Preprocessing delle immagini astronomiche**

### **3.4.3 Addestramento del modello**

### **3.4.4 Valutazione dei risultati**

### **3.4.5 Confronto con immagini non elaborate**

## **3.5 Limiti e possibili sviluppi**

---

## CONCLUSIONI

Stesura

---

## Riferimenti bibliografici e sitografici

---

<sup>1</sup> Edward C. Pickering, *The Future of Astronomy*, Popular Science Monthly, 1909

<sup>2</sup> Daniele Gasparri, *Primo incontro con la fotografia astronomica*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017

<sup>3</sup> Alessio Vaccaro, <https://www.bluejourneyastro.com/strumentazione/attrezzatura-per-astrofotografia-la-guida-completa/>

Note a piè di pagina (correggi in latex):  
<https://www.otticatelescopio.com/it/informazioni/articoli/20-manuali/astronomia/269-lunghezza-focale-e-rapporto-focale-di-un-telescopio.html>

<sup>4</sup> <https://catalogo.museogalileo.it/approfondimento/Focheggiatore.html>

<sup>5</sup> Luca Fornaciari, <https://lucafornaciarifotografia.com/2019/08/29/i-filtri-per-astrofotografia/>

Ghirotto L. (2025), *Intervista personale*, condotta il 2 agosto 2025

<sup>6</sup> <https://astroscopehub.com/astrofotografia-per-principianti/>

<sup>7</sup> <https://astropills.it/inquinamento-luminoso-come-combatterlo-in-astrofotografia/>

<sup>8</sup> <https://www.passioneastronomia.it/astrofotografia-inquinamento-luminoso-scelta-cielo/>

<sup>9</sup> <https://www.osservatoriomontebaldo.it/sqm--sky-quality-meter.html>

<sup>10</sup> <https://www.primalucelab.it/blog/astrofotografia-ed-inquinamento-luminoso-astrophotography-and-light-pollution/>

<sup>11</sup> [https://www.meteoblue.com/it/blog/article/show/35991\\_Astrofotografia+usando+meteoblue+Astronomical+Seeing](https://www.meteoblue.com/it/blog/article/show/35991_Astrofotografia+usando+meteoblue+Astronomical+Seeing)

<sup>12</sup> <https://it.wikipedia.org/wiki/Seeing>

<sup>13</sup> <https://telescopiofacile.com/seeing-in-astronomia-significato-e-scale-utilizzate>

<sup>14</sup> <https://astroscopehub.com/astrofotografia-per-principianti/>

---

<sup>15</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione\\_\(ottica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione_(ottica))

<sup>16</sup> <https://articolidiastronomia.com/2015/10/03/aberrazioni-ottiche/>

<sup>17</sup> <https://www.fotografareindigitale.com/cose-la-coma/23900>

<sup>18</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Coma\\_\(ottica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Coma_(ottica))

<sup>19</sup> <https://www.fotografareindigitale.com/cose-la-coma/23900>

<sup>20</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione\\_\(ottica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Aberrazione_(ottica))

<sup>21</sup> <https://www.otticatelescopio.com/it/informazioni/guide-prodotti/telescopi/collimare-un-rifrattore.html>