

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

Scuola di Scienze  
Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Corso di Laurea in Fisica

**IDENTIFICAZIONE DEGLI AGN NELLE  
SURVEY DI EUCLID TRAMITE COLORI  
OSSERVATI**

**Relatore:**  
Prof.ssa Francesca Pozzi

**Presentata da:**  
Mario Massimo

**Correlatore:**  
Dott.ssa Laura Bisigello

Anno Accademico 2020/2021

# Indice

<b>Indice</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>1 Nuclei Galattici Attivi</b>	<b>3</b>
1.1 Struttura degli AGN . . . . .	3
1.2 Fisica dell'accrescimento . . . . .	6
1.3 Fenomenologia degli AGN . . . . .	9
1.4 Selezione in colore degli AGN . . . . .	11
<b>2 Missione Euclid</b>	<b>13</b>
2.1 Simulare Euclid con SPRITZ . . . . .	15
<b>3 Selezioni in colore</b>	<b>19</b>
3.1 Selezione nella Euclid Wide Survey . . . . .	19
3.1.1 AGN I . . . . .	19
3.1.2 AGN II . . . . .	25
3.1.3 ALL AGN . . . . .	27
3.1.4 Filtri LSST . . . . .	30
3.2 Selezione nella Euclid Deep Survey . . . . .	36
3.2.1 AGN I . . . . .	37
3.2.2 AGN II . . . . .	40
3.2.3 ALL AGN . . . . .	42
3.2.4 Filtri LSST . . . . .	43
<b>Conclusioni</b>	<b>50</b>
<b>Appendice</b>	<b>52</b>

# Abstract

La missione spaziale Euclid, il cui lancio è previsto per la fine del 2022, osserverà milioni di galassie con lo scopo principale di studiare l'evoluzione dell'Universo, la materia oscura e l'energia oscura. La missione è anche un'occasione per studiare il ruolo che hanno i nuclei galattici attivi (AGN) nell'evoluzione della galassia ospitante. Per intraprendere tale studio bisognerà, come primo passo, cercare nuovi criteri di selezione per gli AGN ottimizzati per Euclid, in quanto la maggior parte dei criteri di selezione già disponibili in letteratura non saranno utilizzabili con Euclid a causa della sua copertura in lunghezza d'onda. La missione Euclid osserverà i corpi celesti nei seguenti filtri: VIS, Y, J, H che vanno dall'ottico al vicino-infrarosso. Inoltre sarà coadiuvata da osservazioni ottiche da terra con filtri u, g, r, i, z come quelli disponibili in LSST (Osservatorio Vera C. Rubin). Questa tesi esplora diverse selezioni colore - colore con filtri Euclid o ottici, con lo scopo di isolare diversi tipi di AGN utilizzando i cataloghi della simulazione SPRITZ. La migliore combinazione di colori in assoluto è u-z vs. VIS-H, la quale risulta in una media armonica tra completezza e purezza di oltre il 90 %, superiore di quasi il 20 % alla miglior combinazione che fa uso di solo filtri Euclid, che comprende i tre colori VIS-J, VIS-H, Y-H. I risultati qui riportati forniscono quindi diversi criteri di selezione degli AGN nelle survey di Euclid e confermano l'utilità dei filtri ottici nel migliorare le selezioni operate con solo filtri Euclid.

# Capitolo 1

## Nuclei Galattici Attivi

Mentre nelle normali galassie la quasi totalità della radiazione è legata a processi di evoluzione stellare, quella delle galassie attive è anche prodotta dalla regione centrale. In una galassia attiva, detta anche Nucleo Galattico Attivo (“Active Galactic Nuclei”, AGN), è presente un buco nero supermassiccio, ovvero con una massa maggiore di  $10^8 M_\odot$ <sup>1</sup>, che accresce materia dal mezzo circostante. Secondo le attuali conoscenze, tutte le galassie hanno un buco nero supermassiccio, che è considerato “attivo” quando accresce materia formando un disco d’accrescimento. Gli AGN sono caratterizzati da un’altissima luminosità bolometrica ( $L_{AGN} \simeq 10^{12} - 10^{15} L_\odot$ <sup>2</sup>, paragonabile a quella di un’intera galassia) e dalla capacità di emettere energia in tutte le bande dello spettro elettromagnetico grazie al contributo di diversi fenomeni. L’interesse verso tali oggetti è giustificato dal loro impatto sull’evoluzione della galassia ospitante, in particolare è dibattuto se la presenza di un AGN porti ad un aumento o diminuzione della formazione stellare nella galassia ospitante (Silk e Rees 1998 [25]).

In figura 1.1 è riportata una rappresentazione della struttura di un AGN, che evidenzia le sue parti più importanti (che verranno descritte meglio nella sezione successiva): il disco d’accrescimento, il toro di polvere, la “Broad Line Region” (BLR), la “Narrow Line Region” (NLR), e i getti relativistici.

Nelle prossime sezioni verranno discussi i processi fisici alla base dell’emissione nelle varie bande, la suddivisione fenomenologica degli AGN, e alcuni dei metodi già utilizzati in letteratura per identificarli.

### 1.1 Struttura degli AGN

La varietà di strutture e di processi fisici in un AGN si riflette nella sua distribuzione di energia spettrale (“Spectral Energy Distribution”, SED) che si estende su tutto lo

---

<sup>1</sup>Massa solare.  $1 M_\odot \simeq 1.98 \times 10^{30}$  kg

<sup>2</sup>Luminosità solare.  $1 L_\odot \simeq 3.83 \times 10^{26}$  W

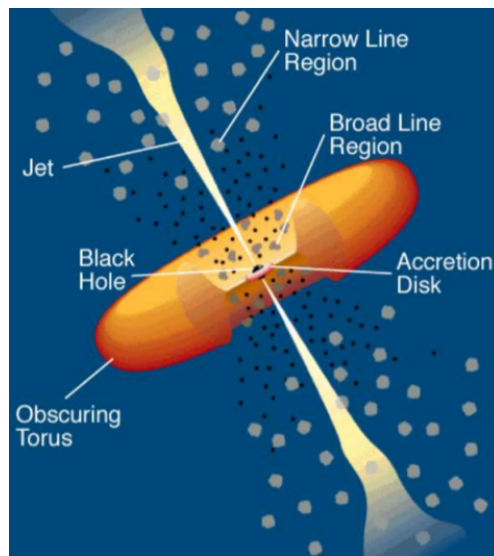


Figura 1.1: Rappresentazione schematica della struttura di un AGN. Attorno al buco nero c'è il disco d'accrescimento, circondato da una struttura toroidale di polvere chiamata toro. Sono presenti due regioni di emissione di linee spettrali: la "Broad Line Region", la quale è più vicina al buco nero centrale e, a seconda della linea di vista, può essere almeno in parte oscurata dal toro di polvere, e la "Narrow Line Region", che si estende su scale più grandi e oltre il toro di polvere. I getti relativistici, se presenti, possono partire vicino al disco d'accrescimento. Immagine da *Harrison* 2014 [21].

spettro elettromagnetico. La Figura 1.2 mette a confronto le SED tipiche di un AGN e di una galassia non attiva evidenziando i contributi delle varie componenti dell'AGN singolarmente.

Analizzando in ordine decrescente di lunghezza d'onda la SED di un AGN, la prima banda di emissione è quella radio ( $\lambda \sim 0.01 - 1 \text{ m}$ ). L'emissione radio è dovuta alla radiazione di sincrotrone, un processo non termico nel quale cariche elettriche vengono accelerate dalla presenza di un campo magnetico. Questo processo avviene nei getti relativistici, fasci di materia ionizzata accelerata a velocità relativistiche che partono dal nucleo e possono raggiungere centinaia di migliaia di parsec<sup>3</sup> di distanza.

Una struttura toroidale di polvere, chiamata toro di polvere, si trova attorno al disco d'accrescimento ed è responsabile dell'emissione nell'infrarosso ( $\lambda \sim 1 - 500 \mu\text{m}$ ). Questa emissione è dovuta al riprocessamento della radiazione proveniente dal disco di accrescimento, che viene assorbita dalla polvere e riemessa a lunghezze d'onda maggiori. Tale processo di emissione è termico e lo spettro risultante è detto di corpo grigio o corpo nero modificato. Il toro ha un raggio interno di  $R > 1 \text{ pc}$  ed una temperatura che si aggira attorno a  $T \sim 1500 \text{ K}$  (Almeyda et al. 2020 [3]). La struttura interna del toro di polvere è ancora dibattuta, ci sono modelli in cui è descritta come una struttura continua ("smooth torus", Fritz et al. 2006 [7], Feltre et al. 2012 [4]) e altri in cui è rappresentata da una serie di nubi ("clumpy torus", Nenkova et al. 2008a [10], Nenkova et al. 2008b [11]).

Il disco d'accrescimento ha il suo picco di emissione nell'ottico/ultra-violetto ( $\lambda \sim 100 - 800 \text{ nm}$ ) e il suo spettro è una sovrapposizione di spettri di corpo nero che hanno un massimo a diverse lunghezze d'onda a seconda della distanza dal buco nero e quindi della temperatura del gas che emette. (vedi sezione 1.2, Paovani et al. 2017 [24]). Sempre nell'ottico sono presenti varie righe spettrali in emissione, provenienti dalla BLR e dalla NLR. La BLR è una regione di materia vicina al buco nero che si estende per  $\sim 10^{-4} - 10^{-2} \text{ pc}$ . Essa è formata da gas denso,  $n > 10^8 \text{ cm}^{-3}$  a temperatura  $T \sim 10^4 \text{ K}$ , che orbita ad una velocità di  $\sim 1000 - 5000 \text{ km s}^{-1}$ . Per questo motivo da questa regione si originano righe larghe permesse, tra cui le più brillanti sono quelle dell'idrogeno. La NLR, distante  $\sim 10^2 - 10^4 \text{ pc}$ , è formata da gas a  $T \sim 10^4 \text{ K}$ , con velocità  $< 1000 \text{ km s}^{-1}$  e densità molto minori,  $n \sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$ , che produce righe di emissione permesse e proibite, ad esempio transizioni di ossigeno o azoto, più strette (vedi fig. 1.1; A. Ferrari *Fondamenti di astrofisica* [20], Harrison 2014 [21], Peterson 2006 [18]).

L'emissione di raggi X ( $E \sim 0.2 - 200 \text{ keV}$ ) avviene nella corona, una regione di gas caldo dalla geometria ancora incerta, che si crea a distanza di pochi raggi gravitazionali sopra al disco d'accrescimento. Il processo fisico responsabile di tale emissione è l'effetto Compton inverso, un fenomeno di scattering tra un elettrone e un fotone nel quale la frequenza del fotone, che ha un'energia molto minore di quella dell'elettrone, aumenta dopo l'urto. (Padovani et al. 2017 [24], Almeyda e Ricci 2017 [19]).

---

<sup>3</sup>1 parsec  $\equiv 1 \text{ pc} \simeq 3.26 \text{ anni luce}$

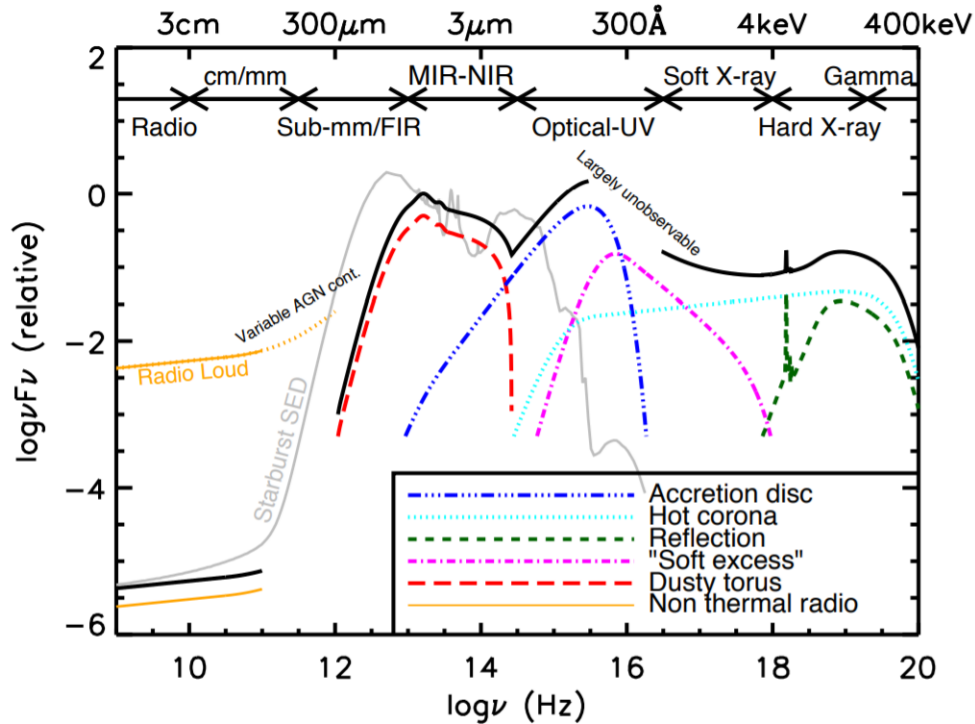


Figura 1.2: Confronto tra le SED tipiche di un AGN e di una galassia non attiva riportata in figura con Starburst. La linea continua nera rappresenta la SED totale di un AGN e le linee colorate i contributi delle sue varie componenti. Ci sono due linee gialle per separare gli AGN radio quiet, nei quali l'emissione radio è trascurabile, e quello radio loud, con emissioni radio ordini di grandezza superiori ai precedenti. La linea grigia è la SED di una galassia star forming. Immagine da *Harrison* 2014 [21]

Anche la radiazione gamma ( $E > 100$  MeV) viene generata nei getti relativistici, per effetto sincrotrone - self Compton, un processo di scattering di Compton inverso tra gli elettroni del getto e la loro stessa emissione di sincrotrone. La categoria di AGN per cui la linea di vista intercetta i getti relativistici viene chiamata Blazars (Padovani et al. 2017 [24]).

## 1.2 Fisica dell'accrescimento

Il disco d'accrescimento è formato dalla materia attratta dal forte campo gravitazionale del buco nero, che, per la conservazione del momento angolare, inizia ad orbitargli attorno e si dispone in un disco perpendicolare alla direzione del momento angolare. La forza d'attrito fra i vari strati del disco è responsabile dell'innalzamento della temperatura,

quindi della conseguente emissione di radiazione, e della decelerazione della velocità rotazionale, che porta lentamente la materia a cadere nel buco nero. Il processo è quindi globalmente una trasformazione di energia potenziale in energia cinetica e termica.

Utilizzando il teorema del viriale

$$2T + U = 0 \quad (1.1)$$

con  $T$  energia cinetica e  $U$  energia potenziale, si può scrivere la variazione dell'energia termica di un elemento di massa  $dm$  che passa da un'orbita a distanza  $r + dr$  a una a distanza  $r$ :

$$\begin{aligned} dE_{th} &= -\frac{1}{2} \frac{GMdm}{r + dr} + \frac{1}{2} \frac{GMdm}{r} \\ &= -\frac{1}{2} GMdm \left( \frac{1}{r + dr} - \frac{1}{r} \right) = \frac{1}{2} GMdm \left( \frac{dr}{r(r + dr)} \right) \\ &\simeq \frac{1}{2} GMdm \frac{dr}{r^2} \end{aligned} \quad (1.2)$$

La luminosità  $dL$  emessa dal disco d'accrescimento si può ricavare dalla definizione generale di luminosità e dall'eq. 1.2:

$$dL = \frac{dE_{th}}{dt} = \frac{1}{2} GM \dot{M} \frac{dr}{r^2} \quad (1.3)$$

e, integrando dal raggio più esterno a quello più interno, considerando il raggio esterno molto maggiore di quello interno, la luminosità emessa dal disco di accrescimento dipende dalla massa  $M$  del buco nero, dal suo rate di accrescimento  $\dot{M}$ , ovvero dalla materia caduta nel buco nero per unità di tempo, dal suo raggio  $R_{in}$ , e dalla costante gravitazionale  $G$ :

$$L \simeq \frac{GM\dot{M}}{R_{in}} \quad (1.4)$$

La luminosità di un oggetto compatto che accresce materia, in generale, è data da:

$$L = \eta \dot{M} c^2 \quad (1.5)$$

Dove  $\eta$  è il fattore di efficienza, che misura la frazione di materia convertita in energia per unità di tempo. Confrontando le due espressioni, il fattore  $\eta$  per un buco nero che accresce materia è  $\eta = \frac{GM}{2c^2 R_{in}}$ , e considerando un modello di Schwarzschild per il buco nero<sup>4</sup>, si ha che l'orbita minore ha un raggio di  $R_{in} \simeq 6 \frac{GM}{c^2}$  e quindi un  $\eta \simeq 0.08$ , dieci volte più alto di quello di un processo nucleare,  $\eta_{nucl} \simeq 0.007$ .

---

<sup>4</sup>Modello che assume come metrica generata da un buco nero quella di Schwarzschild



Data una certa massa  $M$  del buco nero, il limite massimo della luminosità permessa si può ricavare dall'equilibrio tra gravità e pressione di radiazione. La forza di radiazione agente su un singolo elettrone si ricava dall'espressione della pressione di radiazione:

$$\begin{aligned} P_{rad} &= \frac{I}{c} = \frac{L}{4\pi R^2 c} \\ \Rightarrow F_{rad} &= P_{rad} \cdot \sigma_T = \frac{L\sigma_T}{4\pi R^2 c} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Dove  $I$  è l'intensità della radiazione e  $\sigma_T$  la sezione d'urto dello scattering di Thomson. La forza gravitazionale che agisce su un protone è data da:

$$F_{grav} = \frac{Gm_p M}{R^2} \quad (1.7)$$

dove  $m_p$  è la massa del protone.

Eguagliando le due espressioni, si ottiene la luminosità massima permessa, chiamata luminosità di Eddington:

$$L_{Edd} = \frac{4\pi G c m_p}{\sigma_T} M \quad (1.8)$$

Tale limite è derivato assumendo una simmetria sferica, diversa dall'accrescimento nell'AGN, ed è quindi un limite indicativo [17]. Considerando la luminosità espressa in eq. 1.4 si può ricavare il limite di Eddington per il rate di accrescimento:

$$\dot{M}_{Edd} = \frac{4\pi c m_p}{\sigma_T} R_{in} \quad (1.9)$$

Il cui valore tipico per un buco nero di  $10^8 M_\odot$  è di  $0.2 M_\odot$  all'anno.

A partire dall'equazione 1.4 e usando la legge di Stefan-Boltzmann ( $L = 2\pi R^2 \sigma_{SB} T^4$ ) si può anche ricavare la temperatura del disco d'accrescimento per ogni anello radiale tra  $r$  e  $r + dr$  è:

$$T(r) = \left( \frac{GM\dot{M}}{8\pi\sigma_{SB}R_{in}^3} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{R_{in}}{r} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (1.10)$$

Dove  $\sigma_{SB}$  è la costante di Stefan-Boltzmann (A. Ferrari *Fondamenti di astrofisica* [20]).

Lo spettro di emissione del disco d'accrescimento è quindi una sovrapposizione di spettri di corpo nero a diverse temperature, poichè allontanandosi dal buco nero la velocità rotazionale diminuisce, così come la temperatura (vedi eq. 1.10), e ogni "anello" emette come un corpo nero con picchi a lunghezze d'onda sempre maggiori.

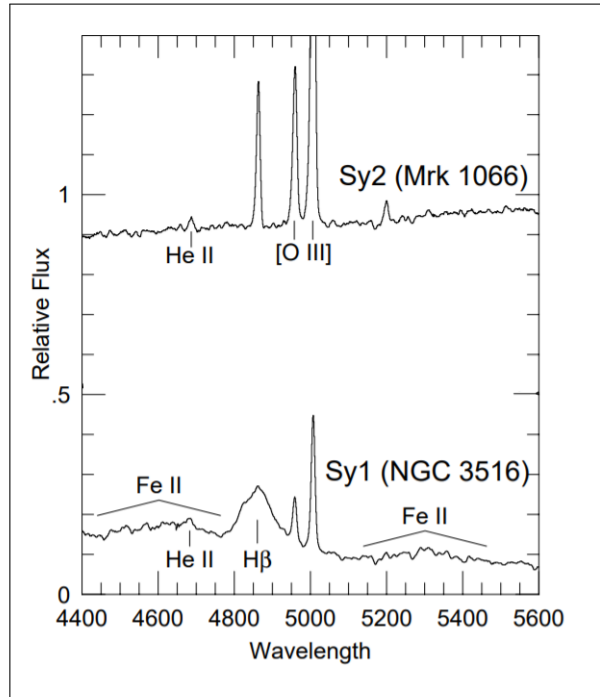


Figura 1.3: Spettro ottico di un AGN II (sopra) e di un AGN I (sotto). Gli AGN I presentano sia righe di emissione larghe che strette, mentre gli AGN II solo righe strette. Immagine adattata da *Pogge 2000* [23].

### 1.3 Fenomenologia degli AGN

Storicamente gli AGN sono stati classificati in vari modi, a seconda della banda usata per le osservazioni. Concentrandosi sullo spettro ottico di un AGN, e osservando le righe di emissione permesse (ad esempio le righe di ricombinazione dell'idrogeno) si possono separare due tipi di sorgente, gli AGN di tipo 1, che presentano sia righe di emissione larghe che strette, e AGN di tipo 2, che presentano solo righe strette, da qui in poi chiamati AGN I e AGN II. Le linee di emissione larghe vengono dalla BLR, la quale negli AGN II è oscurata dalla forte presenza di polveri nel toro, mentre le righe strette vengono dalla NLR, la quale è al di fuori del toro e non può essere quindi oscurata (vedi fig. 1.1 e sezione 1.1). In figura 1.3 è presente un confronto tra lo spettro ottico di un AGN I, con righe larghe e strette, e quello di un AGN II, con sole righe strette.

La differenza tra i due tipi di AGN si vede anche nel continuo, se l'AGN è abbastanza luminoso, come per esempio nei quasar, negli AGN I si vede l'emissione del disco d'accrescimento, mentre negli AGN II il toro di polvere ne oscura l'emissione e lo spettro dell'AGN può essere in parte o totalmente nascosto dallo spettro ottico della galassia ospitante. La figura 1.4 confronta SED di diverse galassie star-forming, AGN I e AGN II.

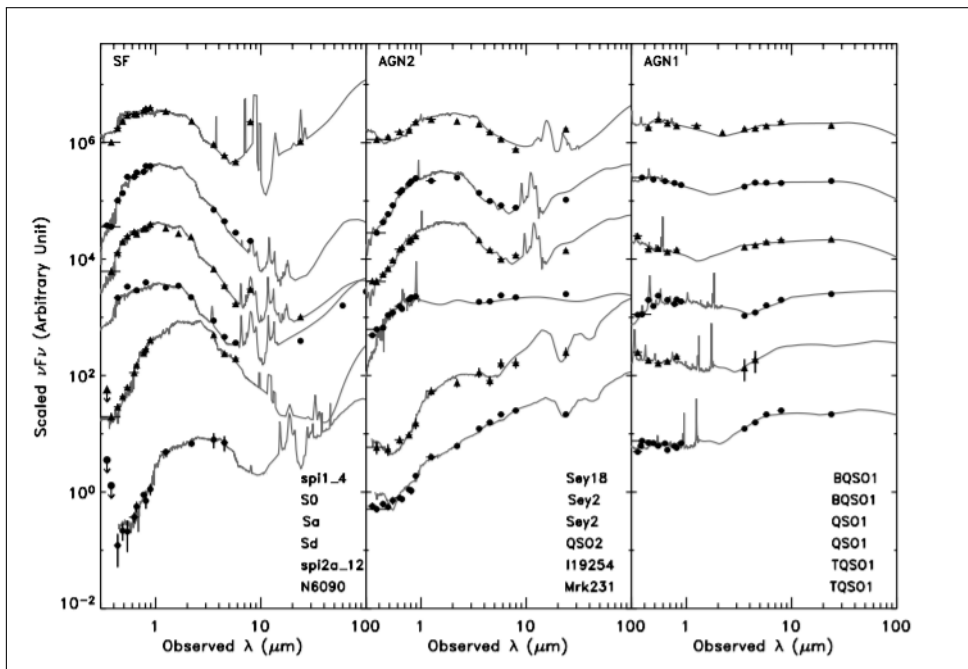


Figura 1.4: SED osservate scalate arbitrariamente (punti e triangoli neri) e i modelli di best-fit (curve continue grigie) di 18 galassie classificate come star-forming (a sinistra), AGN II (al centro) o AGN I (a destra). I nomi dei modelli di SED per i best fit sono scritti nello stesso ordine in cui i SED osservati sono disegnati. Immagine adattata da Polletta et al. 2007 [12].

Il confronto tra i vari tipi di AGN ha portato alla formulazione negli anni '80-'90 di un modello unificato (si veda ad esempio C.M. Urry e P. Padovani 1995 [22]), che introduce come unica differenza tra AGN I e AGN II l'inclinazione del toro di polvere rispetto all'osservatore. Se ad esempio la linea di vista forma un angolo piccolo rispetto al piano del disco, quest'ultimo viene oscurato dal toro di polvere e la sorgente viene classificata come AGN II (A. Ferrari *Fondamenti di astrofisica* [20]). Nell'ultimo decennio, la crescente sensibilità degli strumenti ha permesso di esplorare le galassie e gli AGN ad una risoluzione spaziale e spettrale sempre maggiore, si riescono a raggiungere ad esempio poteri risolutivi<sup>5</sup> di  $\sim 2000 - 4000$  (spettrografo MUSE<sup>6</sup> montato al "Very Large Telescope" in Cile), e risoluzioni angolari di 0.1 arcsec con telescopi ottici (A. Ferrari *Fondamenti di astrofisica* [20]). A seguito di questo avanzamento nelle moderne osservazioni, il modello unificato degli AGN è stato affiancato da uno più complesso, dove gli AGN di diversi tipi possono essere il risultato sia della diversa inclinazione rispetto alla linea di vista, ma possono anche dipendere dalla fase di co-evoluzione delle galassie e dei buchi neri al loro interno (Hopkins et al. 2014 [14] e Hopkins et al. 2016 [15]).

## 1.4 Selezione in colore degli AGN

Il colore di un oggetto astrofisico è la differenza tra le magnitudini  $m$  in due diversi filtri. Si chiama colore intrinseco se è calcolato a lunghezza d'onda di laboratorio, o colore apparente se è derivato considerando le lunghezze d'onda osservate. Utilizzando la legge di Pogson:

$$m = -2.5 \cdot \log_{10} \left( \frac{F}{F_0} \right) \quad (1.11)$$

dove  $F$  indica il flusso osservato ed  $F_0$  il flusso di riferimento corrispondente ad una magnitudine nulla, il colore apparente è definito da:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \log_{10} \left( \frac{F_1}{F_2} \right) \quad (1.12)$$

Dove  $F$  indica il flusso corrispondente ad una data magnitudine apparente ed i pedici 1 e 2 individuano i due diversi filtri.

Utilizzare i colori può essere un metodo efficiente per identificare gli AGN e alternativo alla spettroscopia, in quanto per ottenere dei colori è sufficiente effettuare delle osservazioni fotometriche, le quali richiedono generalmente un minor tempo di esposizione rispetto ad osservazioni spettroscopiche. La scelta dei filtri da utilizzare può talvolta

---

<sup>5</sup>Il potere risolutivo è il rapporto tra una lunghezza d'onda  $\lambda$  e la minima differenza misurabile a tale  $\lambda$

<sup>6</sup><https://www.eso.org/sci/facilities/develop/instruments/muse.html>

precludere l'identificazione di alcuni tipi di AGN. Il toro di polvere, ad esempio, assorbe la radiazione nell'ottico/ultra-violetto e può quindi oscurare l'emissione delle zone centrali dell'AGN rendendo difficoltosa l'identificazione degli AGN II con filtri ottici. Questi tipi di AGN possono essere invece selezionati osservando a lunghezze d'onda infrarosse (e.g. Stern et. al 2005 [1] , Donley et. al 2012 [2]).

In questa tesi ci concentreremo su lunghezze d'onda osservate ottiche e vicine infrarosse, poichè sono quelle che la futura missione spaziale Euclid potrà osservare.

# Capitolo 2

## Missione Euclid

Euclid è una missione spaziale ESA (“European Space Agency”) che ha come scopo principale quello di indagare la natura della materia oscura e dell’energia oscura dell’Universo il cui lancio è previsto per ottobre 2022. Osservando miliardi di galassie fino a  $z \sim 6$ <sup>1</sup> (corrispondente a circa 12.5 miliardi di anni fa), offre anche la possibilità di indagare altre questioni chiave dell’astrofisica, come l’effetto degli AGN sull’evoluzione delle galassie ospitanti.

Euclid disporrà di un telescopio di 1.2 m di diametro e sarà dotato a bordo di due strumenti: un fotometro centrato nel visibile (VIS), equipaggiato con un solo filtro che copre il range di lunghezze d’onda 550 - 900 nm, e uno spettro-fotometro infrarosso (NISF), equipaggiato con i filtri Y, J, H che coprono rispettivamente i range 920 - 1146 nm, 1146 - 1372 nm e 1372 - 2000 nm, e due spettrografi (rosso e blu) che coprono rispettivamente i range 1250 - 1850 nm e 920 - 1250 nm. La figura 2.1 mostra la frazione di flusso misurata in funzione della lunghezza d’onda per i quattro filtri.

Le osservazioni di Euclid si divideranno in due surveys: la survey Wide coprirà 15000 deg<sup>2</sup> (oltre il 32% della sfera celeste) mentre la survey Deep coprirà tre aree per un’area totale di 40 deg<sup>2</sup>. Le magnitudini limite (espresse nel riferimento AB<sup>2</sup> e corrispondenti ad un rapporto segnale rumore di 10) per la survey Wide sono 24.5 per il filtro VIS e 23.24 per gli altri tre, la survey Deep potrà osservare fino a due magnitudini più deboli. In figura 2.2 sono rappresentate le porzioni di cielo che le due survey osserveranno.

---

<sup>1</sup>Il redshift è un numero adimensionale che misura di quanto è aumentata la lunghezza d’onda della radiazione che misuriamo da un oggetto in allontanamento rispetto alla sua emissione. Il redshift cosmologico  $z$  è l’effetto dell’espansione dell’Universo e la distanza tra due oggetti  $d$  è proporzionale a  $z$ .

<sup>2</sup>nel riferimento AB, il valore di  $F_0$  della formula di Pogson è fissato per tutte le bande di lunghezze d’onda a  $\sim 3631$  Jy. (1 Jy =  $10^{-26}$  W/m<sup>2</sup>Hz)

<sup>4</sup><https://sci.esa.int/web/euclid>

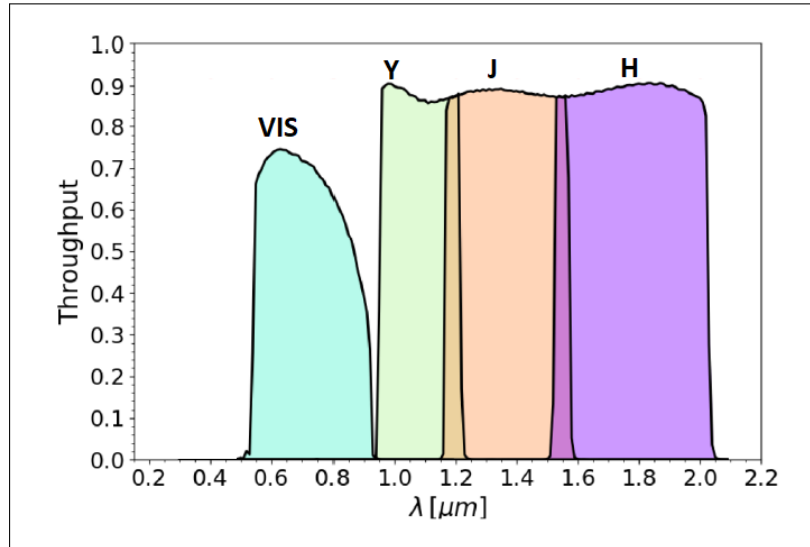


Figura 2.1: Frazione di flusso misurata in funzione della lunghezza d'onda per i quattro filtri di Euclid. Immagine adattata da Bisigello et al. 2020 [8].

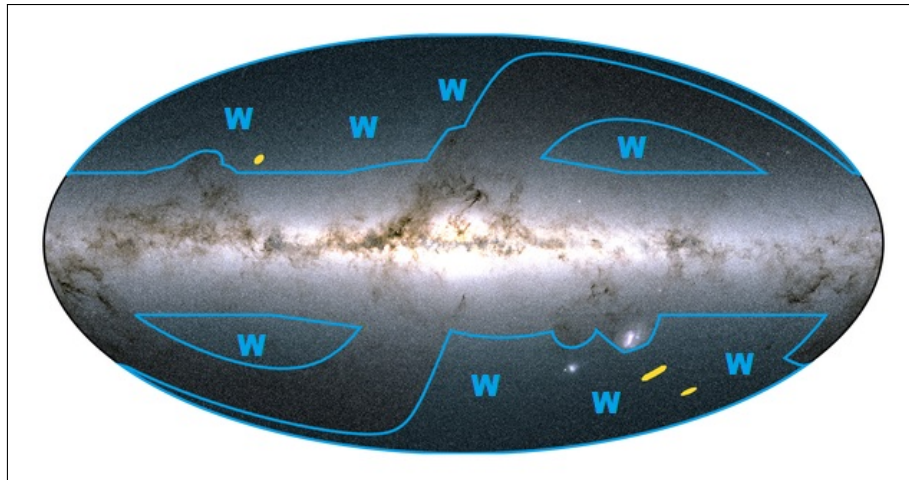


Figura 2.2: Porzioni di cielo osservate dalla survey Wide (evidenziata dalle W blu) e dalla survey Deep (in giallo). Immagine dal sito web della missione Euclid.<sup>4</sup>

## 2.1 Simulare Euclid con SPRITZ

Il primo passo per studiare gli AGN e il loro ruolo nell'evoluzione delle galassie ospitanti è selezionarne un grande numero dalle surveys di Euclid. È quindi necessario, a causa della grande mole di dati che saranno disponibili con Euclid, cercare semplici criteri di selezione, come le selezioni in colore. Data la natura dei filtri Euclid, alcune selezioni già disponibili basate su osservazioni Spitzer, o nel medio-infrarosso (e.g. Stern et al. 2005 [1]), non saranno disponibili. Per simulare le due survey di Euclid e cercare nuovi criteri di selezione in colore è stata utilizzata la simulazione SPRITZ<sup>5</sup> (“Spectro-photometric realisations of infrared-selected targets at all-z”, Bisigello et al. 2021 [9]).

SPRITZ è una simulazione basata su precedenti osservazioni IR Herschel<sup>6</sup> (Gruppioni et al. 2013 [5]) e, utilizzando una serie di relazioni empiriche, associa diverse proprietà fisiche (massa stellare, rate di formazione stellare, funzione di luminosità, ...) a ciascuna galassia simulata. I cataloghi risultanti includono osservazioni fotometriche e spettroscopiche simulate di milioni di galassie ed AGN, seguendo i limiti fotometrici delle survey Euclid.

In SPRITZ sono presenti quattro tipi di AGN:

- SF-AGN: galassie in cui l'AGN non è il meccanismo principale di emissione osservato a causa della bassa luminosità intrinseca dell'AGN
- SB-AGN: galassie per cui l'AGN non è il principale meccanismo di emissione osservato, a causa del forte oscuramento da polvere
- AGN I: galassie in cui l'AGN è il meccanismo d'emissione dominante e, grazie alla linea di vista, risulta essere poco oscurato, come descritto nella sezione 1.3
- AGN II: galassie in cui l'AGN è il meccanismo d'emissione dominante, ma, a causa alla linea di vista, risulta essere oscurato, come descritto nella sezione 1.3

Il catalogo simulato delle surveys di Euclid è stato utilizzato per cercare nuove selezioni in colore degli AGN I, AGN II e tutti i tipi di AGN separatamente.

### Verifiche preliminari

Prima di cercare la migliore selezione in colore per identificare gli AGN I nelle surveys di Euclid, la simulazione è stata analizzata considerando criteri già largamente utilizzati in letteratura, per verificare che i colori degli AGN simulati siano realistici. In particolare sono stati presi in considerazione due criteri di selezione in colore di AGN nel medio-infrarosso che fanno uso dei dati Spitzer/IRAC (Werner et al. 2004 [13], Fazio et al.

---

<sup>5</sup><http://spritz.oas.inaf.it/>

<sup>6</sup>[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Herschel](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Herschel)



2004 [6]): i criteri descritti in Stern et al. 2005 [1] e Donley et al. 2012 [2].  
 Il criterio di Stern è descritto dall'equazione:

$$\begin{aligned} ([5.8] - [8.0]) > 0.6 \quad \& \quad ([3.6] - [4.5]) > 0.2 \cdot ([5.8] - [8.0]) + 0.18 \\ \& \quad ([3.6] - [4.5]) > 2.5 \cdot ([5.8] - [8.0]) - 3.5 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Dove [3.6],[4.5],[5.8] e [8.0] sono le magnitudini, nel riferimento Vega, dei quattro canali IRAC, centrati rispettivamente a 3.6, 4.5, 5.8, e 8.0  $\mu\text{m}$ , e  $\&$  è l'operatore logico AND. In figura 2.3 è riportata la selezione di Stern applicata al catalogo simulato di *SPRITZ*, che non include alcun errore fotometrico per i colori IRAC. Per quantificare la qualità di una selezione, verrà utilizzato, da questo momento in poi, il fattore F1, un numero compreso tra 0 e 100 definito da:

$$\begin{aligned} F1 &= 2 \frac{P \cdot R}{P + R} \cdot 100 \\ \text{con } P &= \frac{TP}{TP + FP} \quad e \quad R = \frac{TP}{TP + FN} \end{aligned} \quad (2.2)$$

dove P ed R, precisione e completezza, dipendono dai numeri TP (“true positive”), ovvero gli oggetti selezionati correttamente come AGN, FN (“false negative”), AGN non selezionati, e FP (“false positive”), oggetti selezionati ma che non sono AGN.

Gli AGN si trovano nella regione di grafico che ci si aspetta, e anche i risultati numerici trovano buon riscontro in quelli di Stern et al. 2005 [1]: nell'articolo si parla di una completezza del 90% e una contaminazione del 17% mentre la selezione applicata al catalogo di *SPRITZ* da una completezza del 98.66% e una contaminazione del 43.83%, che danno un fattore *F1* del 71.58%. Differenze nelle percentuali possono essere dovute all'uso di diverse selezioni fotometriche, diversi SED per gli AGN o all'assenza di errori fotometrici nella simulazione.

Il criterio di Donley è invece il seguente:

$$\begin{aligned} x &= \log_{10} \left( \frac{f_{5.8}}{f_{3.6}} \right), \quad y = \log_{10} \left( \frac{f_{8.0}}{f_{4.5}} \right) \\ x \geq 0.08 \quad \& \quad y \geq 0.15 \quad \& \quad y \geq 1.21 \cdot x - 0.27 \\ \& \quad y \leq 1.21 \cdot x - 0.27 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Con le seguenti restrizioni per i flussi nei vari filtri:

$$f_{4.5} > f_{3.6} \quad \& \quad f_{5.8} > f_{3.6} \quad \& \quad f_{8.0} > f_{5.8} \quad (2.4)$$

Dove  $f_x$  indica il flusso del filtro  $x$ .

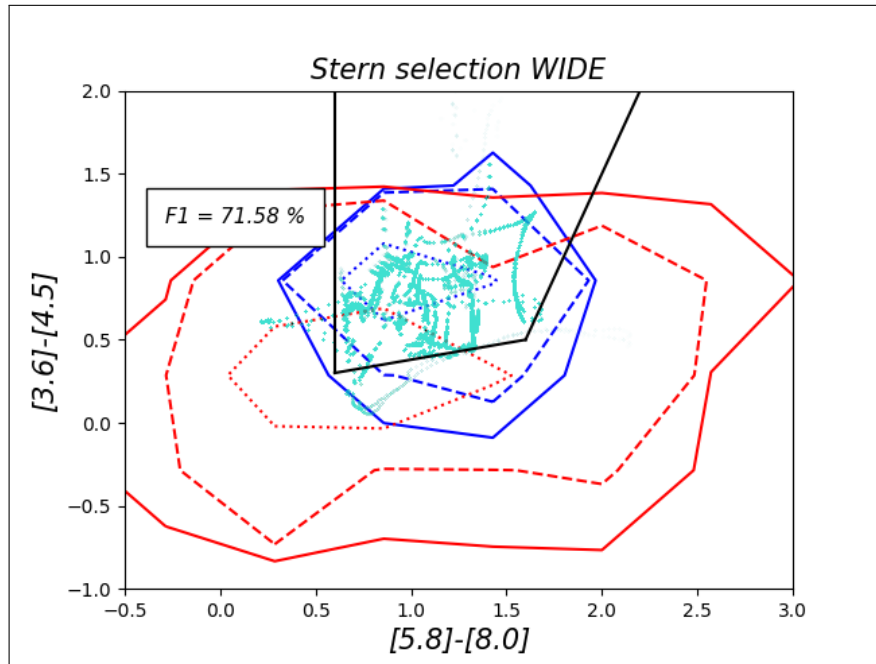


Figura 2.3: Grafico della selezione descritta in Stern et al. 2005 applicata al catalogo simulato *SPRITZ*. Non si è incluso alcun errore fotometrico per i colori IRAC. I punti ciano indicano i singoli AGN I e AGN II, le linee blu i contorni della loro distribuzione e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. La selezione è evidenziata da linee nere. Il fattore  $F1$  vale 71.58%.

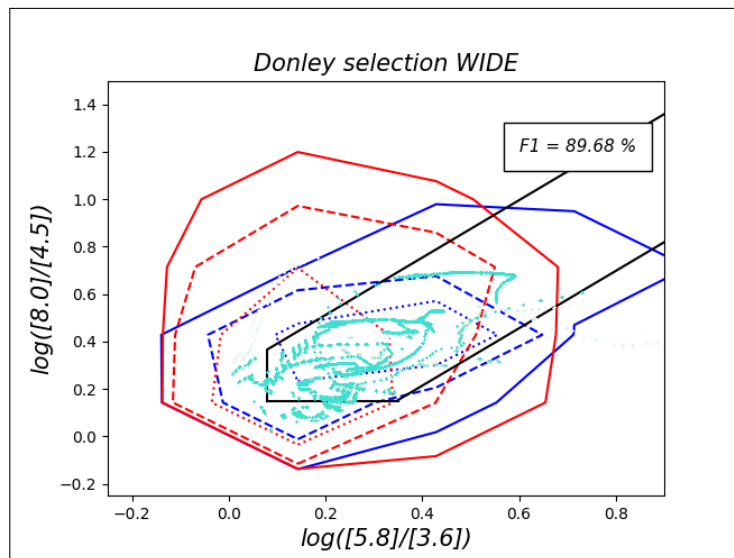


Figura 2.4: Come figura 2.3, ma per la selezione descritta da Donley et al. 2012 [2]

In figura 2.4 la selezione di Donley applicata al catalogo simulato di SPRITZ.

Anche in questo caso gli AGN vengono isolati in modo corretto, e, dato il fattore  $F1$  di 89.68%, il criterio può dirsi verificato. Concludiamo che i colori degli AGN della simulazione SRRITZ sono ragionevolmente congruenti con quelli osservati, e possono essere utilizzati per analizzare nuovi metodi di selezione in colore.

# Capitolo 3

## Selezioni in colore

### 3.1 Selezione nella Euclid Wide Survey

Prima di iniziare con la selezione in colore abbiamo costruito i sei colori possibili con i filtri Euclid, abbiamo calcolato medie e mixing dei colori delle galassie che vogliamo isolare e di tutte le altre al fine di individuare i colori che meglio isolano gli AGN I o gli AGN II. Il mixing è la percentuale di galassie di un certo tipo che si trovano all'interno di un intervallo di una deviazione standard dalla media di galassie di un altro tipo. I colori migliori saranno quelli con un mixing minore e che, quindi, separano meglio le due popolazioni di galassie. Sono state considerate solo le galassie con un rapporto segnale su rumore (S/N), in tutti i filtri Euclid, maggiore di tre, per cercare di mantenere solo i dati con maggiore qualità. Abbiamo trattato separatamente gli AGN I e AGN II poichè, dato il range di lunghezze d'onda coperto dai filtri di Euclid, ci si aspetta che gli AGN I siano più facilmente identificabili (vedi sezione 1.3).

#### 3.1.1 AGN I

In tabella 3.1 sono riportate le medie di AGN I e dei NON AGN I per ogni colore ottenibile con i filtri Euclid, con relativo mixing. I quattro colori con mixing minore sono VIS-Y, VIS-J, VIS-H e Y-H. I colori che includono il filtro VIS hanno un mixing degli AGN I che si aggira attorno al 20 %, cioè il 20 % degli AGN I è all'interno di una deviazione standard dalla media dei NON AGN I, mentre il colore Y-H ha un mixing del 67.27 %.

A partire da questi colori sono state prese in considerazione selezioni di complessità crescente. La più semplice è quella qui chiamata “*a rettangolo*”, che in un grafico colore-colore imposta i limiti superiori per entrambi i colori:

$$colore1 < a \quad \& \quad colore2 < b \quad (3.1)$$

	AGN I	NON AGN I	MIXING AGN I	MIXING NON AGN I
<b>VIS-Y</b>	0.216 ± 0.213	0.746 ± 0.381	26.53 %	10.59 %
<b>VIS-J</b>	0.353 ± 0.211	1.001 ± 0.461	22.55 %	7.31 %
<b>VIS-H</b>	0.492 ± 0.225	1.218 ± 0.554	22.12 %	6.89 %
<b>Y-J</b>	0.136 ± 0.234	0.255 ± 0.251	73.56 %	63.02 %
<b>Y-H</b>	0.275 ± 0.255	0.471 ± 0.321	67.27 %	42.83 %
<b>J-H</b>	0.139 ± 0.242	0.216 ± 0.229	81.61 %	73.89 %

Tabella 3.1: Medie di colori degli AGN I e dei NON AGN I della survey Wide nei sei colori di Euclid con relativo mixing

Alla quale si può aggiungere una retta per migliorare la selezione:

$$colore1 < a \quad \& \quad colore2 < b \quad \& \quad colore2 > m \cdot colore1 + q \quad (3.2)$$

L'ultima selezione è stata fatta considerando una terna di colori, e impostando per ognuno di loro un limite superiore:

$$colore1 < a \quad \& \quad colore2 < b \quad \& \quad colore3 < c \quad (3.3)$$

Per ciascuna selezione abbiamo variato i parametri  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $q$  ed  $m$ , con variazioni di 0.005 in  $m$  e 0.01 per i rimanenti parametri, fino ad ottenere i parametri che massimizzano il valore di  $F1$ .

## Selezione “a rettangolo”

Seguendo i risultati della sezione precedente, abbiamo analizzato ulteriormente i quattro colori con il mixing minore, cioè quelli che meglio separano gli AGN I dal resto delle galassie, e abbiamo costruito 4 grafici colore - colore sui cui operare delle selezioni.

Come menzionato precedentemente la selezione più semplice è quella “a rettangolo”, descritta dall'eq. 3.1.

In tabella 3.2 sono riportati i valori di  $a$  e  $b$  per ogni grafico e il relativo fattore  $F1$ .

La miglior separazione si ottiene applicando la selezione  $VIS-Y < 0.85$  e  $VIS-H < 0.72$ , che restituisce un valore di  $F1$  di 75.59%, come mostrato in figura 3.1.

## Colore vs. magnitudine

Abbiamo applicato una selezione “a rettangolo” anche su grafici non con due colori, ma bensì con un colore e la magnitudine apparente nel filtro VIS, poiché a differenza

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
(VIS-Y,VIS-J)	0.61	0.65	73.03 %
(VIS-Y,VIS-H)	0.85	0.72	75.59 %
(VIS-J,VIS-H)	0.62	0.85	75.21 %
(VIS-J,Y-H)	0.61	0.87	73.80 %

Tabella 3.2: Tabella dei quattro grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “a rettangolo” degli AGN I nella survey Wide.

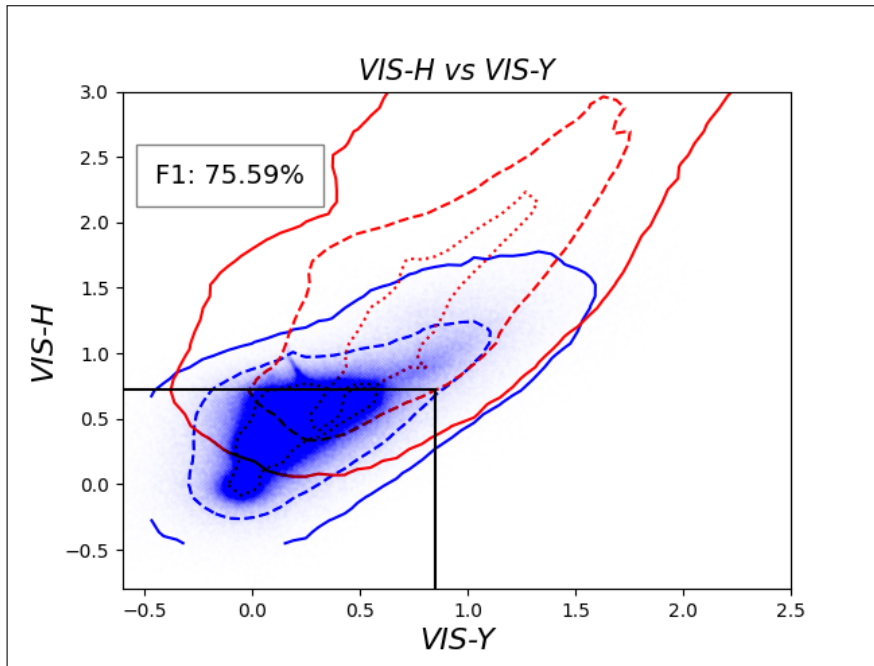


Figura 3.1: Grafico colore-colore VIS-Y vs. VIS-H, i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-Y < 0.85$  e  $VIS-H < 0.72$ .

delle selezioni precedenti si utilizzano solo due filtri, tra cui il filtro a lunghezza d'onda minore compreso nello spettro visibile. In tabella 3.3 sono riportati le coppie colore - magnitudine che danno un valore di  $F1$  più alto.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
$(m_{VIS}, \mathbf{VIS-Y})$	25.50	0.39	66.89 %
$(m_{VIS}, \mathbf{VIS-J})$	26.00	0.61	73.26 %
$(m_{VIS}, \mathbf{VIS-H})$	26.00	0.72	75.58 %

Tabella 3.3: Tabella dei grafici colore-magnitudine, con relativi limiti superiori e fattore  $F1$  per la selezione “a rettangolo” degli AGN I nella survey Wide.

In figura 3.2 mostriamo il grafico  $m_{VIS}$  vs.  $VIS-H$ , da cui si ottiene il valore di  $F1$  maggiore tra quelli analizzati. Applicando la selezione  $m_{VIS} < 26.00$  e  $VIS-H < 0.72$ , il valore di  $F1$  è pari a 75.58 %, di poco minore rispetto alla selezione “a rettangolo” con due colori. Dal grafico si può notare che non c'è una vera selezione in magnitudine poichè il limite superiore imposto a  $m_{VIS}$  comprende la quasi totalità delle galassie.

### Selezione “a rettangolo” con retta

Osservando i grafici e seguendo i lavori di Stern et al. 2005 [1] e Donley et al. 2012 [2], si può pensare di aggiungere alle due rette della selezione “a rettangolo” con due colori una terza retta per migliorare la selezione degli AGN I.

In tabella 3.4 sono riportate le stesse coppie di colori della tabella 3.2 con i relativi valori di  $a, b$ , che abbiamo lasciato invariati dalla precedente selezione “a rettangolo”, del coefficiente angolare  $m$  e dell'ordinata all'origine  $q$  della terza retta di selezione, introdotti nell'eq. 3.2.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>m</b>	<b>q</b>	<b>F1</b>
$(\mathbf{VIS-Y}, \mathbf{VIS-J})$	0.61	0.65	2.205	-1.25	73.02 %
$(\mathbf{VIS-Y}, \mathbf{VIS-H})$	0.85	0.72	1.435	-0.65	75.49 %
$(\mathbf{VIS-J}, \mathbf{VIS-H})$	0.62	0.85	1.285	-0.64	75.14 %
$(\mathbf{VIS-J}, \mathbf{Y-H})$	0.61	0.87	0.370	-0.55	73.71 %

Tabella 3.4: Tabella di quattro grafici colore-colore, con relativi limiti superiori, coefficiente angolare e ordinata all'origine della retta di selezione, e fattore  $F1$  per la selezione “a rettangolo” con retta degli AGN I nella survey Wide.

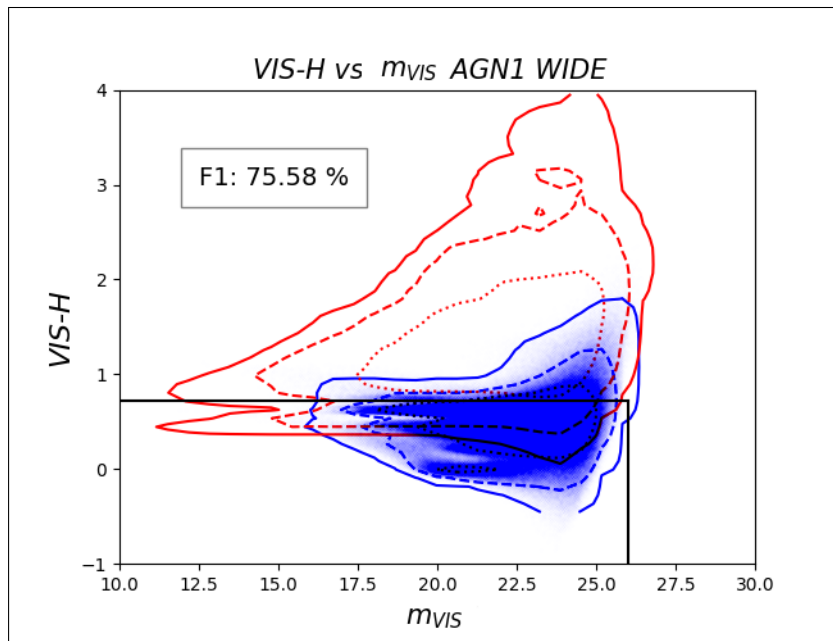


Figura 3.2: Grafico colore-magnitudine  $m_{VIS}$  vs.  $VIS-H$ , i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $m_{VIS} < 26.00$  e  $VIS-H < 0.72$ . Si può notare che non c'è una vera selezione in magnitudine poichè il limite superiore imposto a  $m_{VIS}$  comprende la quasi totalità delle galassie.



In figura 3.3 il grafico VIS-Y vs. VIS-H, da cui si ottiene il valore di  $F1$  maggiore tra quelli studiati. Oltre alla precedente selezione  $VIS-Y < 0.85$ ,  $VIS-H < 0.72$ , è stata aggiunta la condizione  $VIS-H > 1.435 \cdot VIS-Y + 0.65$ , che, rispetto alla sola selezione “a rettangolo” fa scendere il valore di  $F1$  a 75.49%. Solo abbassando molto il valore di  $q$  si ritrova il valore di  $F1$  della selezione “a rettangolo”, ma a quel punto la retta non intercetta più la distribuzione. L’aggiunta di una retta non permette quindi di migliorare la selezione “a rettangolo”.

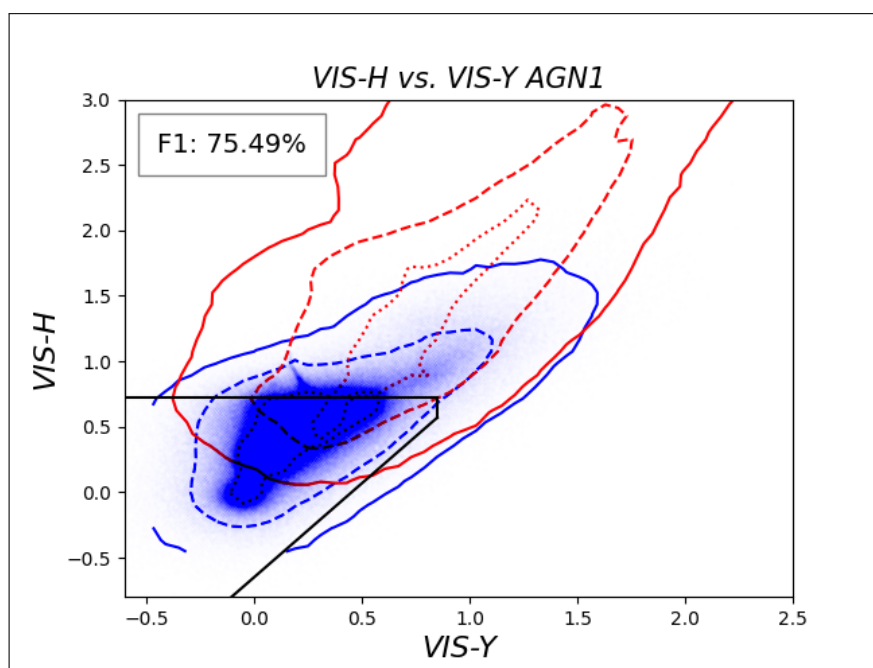


Figura 3.3: Grafico colore-colore VIS-Y vs. VIS-H, i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-Y < 0.85$  e  $VIS-H < 0.72$  a cui è stata aggiunta la condizione  $VIS-H > 1.435 \cdot VIS-Y + 0.65$ .

## Selezione a tre colori

L’ultimo passaggio è stato quello di aumentare il grado di complessità della selezione, considerando non più una coppia, ma una terna di colori, creando così un grafico tridimensionale a cui è applicata una selezione “a cubo”, descritta dall’equazione 3.3.

In tabella 3.5 sono riportate le terne di colori considerate, i relativi valori di  $a, b, c$ , e il fattore  $F1$ .

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>F1</b>
<b>(VIS-Y, VIS-J, VIS-H)</b>	0.77	0.62	0.80	75.28 %
<b>(VIS-Y, VIS-J, Y-H)</b>	0.61	0.62	0.85	74.24 %
<b>(VIS-Y, VIS-H, Y-H)</b>	0.75	0.72	1.20	75.57 %
<b>(VIS-J, VIS-H, Y-H)</b>	0.82	0.72	1.30	75.66 %

Tabella 3.5: Tabella delle terne di colori con i relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “*a cubo*” degli AGN I nella survey Wide.

In figura 3.4 il grafico (VIS-J, VIS-H, Y-H), da cui si ottiene il valore di  $F1$  maggiore tra i quattro studiati. Applicando la selezione  $VIS-J < 0.82$ ,  $VIS-H < 0.72$  e  $Y-H < 1.30$ , il valore di  $F1$  è pari a 75.66 %, e risulta essere leggermente superiore a quello ottenuto dalla selezione “*a rettangolo*”.

### 3.1.2 AGN II

Una volta completata la selezione degli AGN I, abbiamo ripetuto gli stessi passaggi per isolare gli AGN II. In tabella 3.6 sono riportate le medie di AGN II e NON AGN II, e relativi mixing, per i sei colori di Euclid. I valori dei mixing per gli AGN II non scendono mai sotto il 60.15 %, valore sensibilmente maggiore rispetto al minor valore di mixing per gli AGN I, di 22.12 %.

	<b>AGN II</b>	<b>NON AGN II</b>	<b>MIXING AGN II</b>	<b>MIXING NON AGN II</b>
<b>VIS-Y</b>	$1.093 \pm 0.452$	$0.743 \pm 0.381$	81.58 %	56.80 %
<b>VIS-J</b>	$1.486 \pm 0.715$	$0.998 \pm 0.463$	78.30 %	70.82 %
<b>VIS-H</b>	$1.910 \pm 0.849$	$1.213 \pm 0.554$	72.97 %	62.26 %
<b>Y-J</b>	$0.392 \pm 0.414$	$0.254 \pm 0.251$	77.18 %	94.21 %
<b>Y-H</b>	$0.816 \pm 0.561$	$0.470 \pm 0.319$	58.79 %	83.96 %
<b>J-H</b>	$0.423 \pm 0.263$	$0.215 \pm 0.229$	60.15 %	68.96 %

Tabella 3.6: Medie di colori degli AGN II e dei NON AGN II della survey Wide nei sei colori di Euclid con relativo mixing

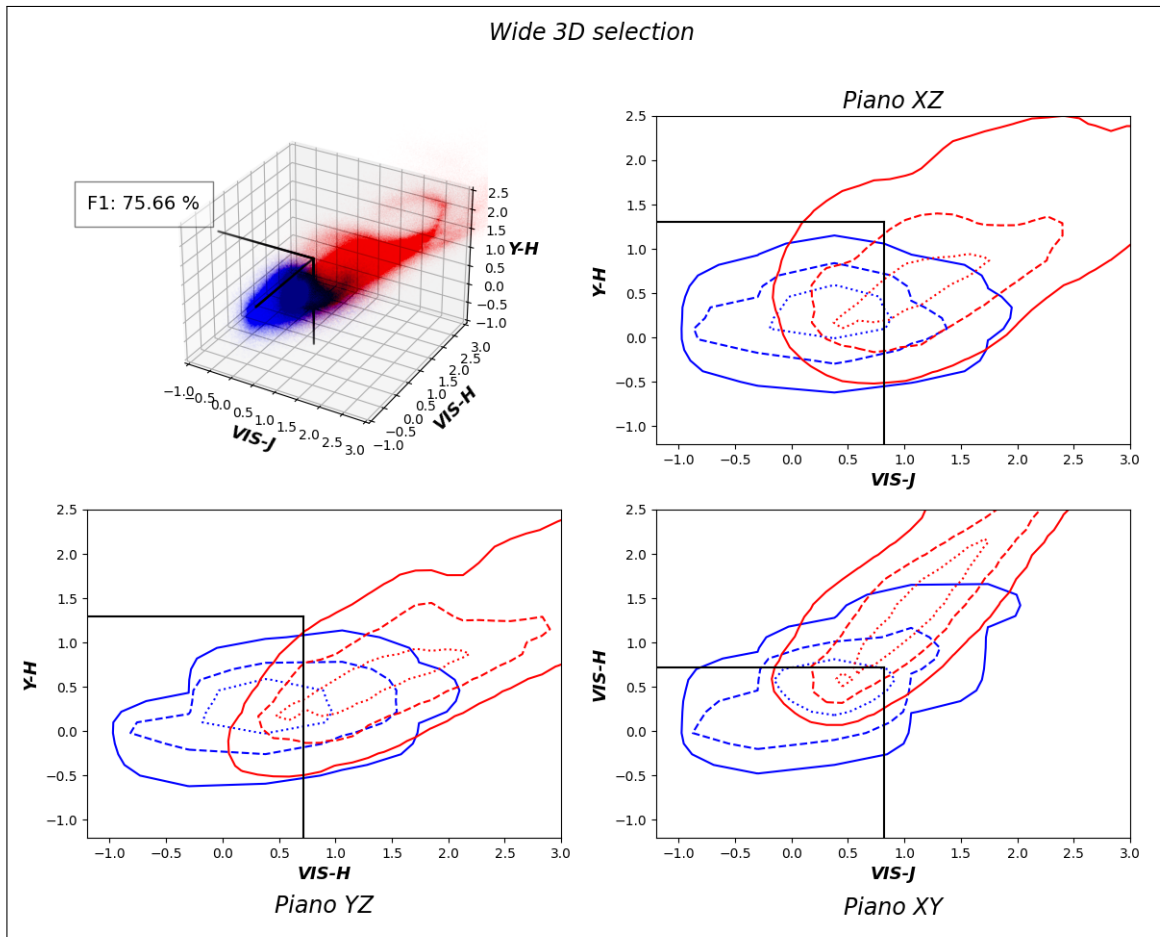


Figura 3.4: Grafico della terna di punti (VIS-J,VIS-H,Y-H), i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-J < 0.82$ ,  $VIS-H < 0.72$  e  $Y-H < 1.30$ . Il fattore  $F1$  vale 75.66 %.

## Selezione “a rettangolo”

Anche per gli AGN II abbiamo operato una selezione “a rettangolo” sui grafici colore - colore, in tabella 3.7 sono riportati i relativi risultati.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(VIS-J,VIS-H)</b>	1.00	1.00	13.09 %
<b>(VIS-H,J-H)</b>	2.00	1.00	11.14 %
<b>(VIS-J, J-H)</b>	1.60	0.70	10.89 %
<b>(VIS-J,Y-H)</b>	1.50	1.00	13.02 %

Tabella 3.7: Tabella dei quattro grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “a rettangolo” degli AGN II nella survey Wide.

In figura 3.5 riportiamo il grafico VIS-J vs. VIS-H. Applicando la selezione  $VIS-J < 1.00$  e  $VIS-H < 1.00$  si ottiene il maggior valore di  $F1$  tra i quattro riportati, pari a 13.09 %, molto minore rispetto al massimo valore di  $F1$  per le selezioni degli AGN I. Vista la difficoltà nel selezionare gli AGN II non si è proseguito ad analizzare metodi più complessi di selezione, quali la selezione “a rettangolo” con retta o “a cubo”.

### 3.1.3 ALL AGN

Le ultime galassie che abbiamo provato ad isolare sono tutti i tipi di AGN, inclusi quindi anche quegli oggetti con AGN intrinsecamente debole o altamente oscurato. In tabella 3.8 sono riportate le medie pesate di tutti gli AGN, NON AGN, e relativi mixing, per i sei colori di Euclid. I valori dei mixing degli AGN sono sensibilmente più alti di quelli degli AGN I, e confrontabili con quelli degli AGN II. Il minimo valore di mixing degli AGN è 72.81 %, ottenuto considerando il colore Y-H.

## Selezione “a rettangolo”

La selezione base “a rettangolo” è stata operata anche per tutti i tipi di AGN, in tabella 3.9 sono riportati i risultati.

In figura 3.6 il grafico VIS-Y vs. VIS-H dal quale si ricava il maggior valore di  $F1$ , pari a 67.62 %, applicando la selezione  $VIS-Y < 1.60$  e  $VIS-H < 2.30$ . Questo valore di  $F1$  è di poco minore a quello massimo per gli AGN I, pari a 75.66 %, mentre è molto maggiore del massimo per gli AGN II, pari a 13.09 %.

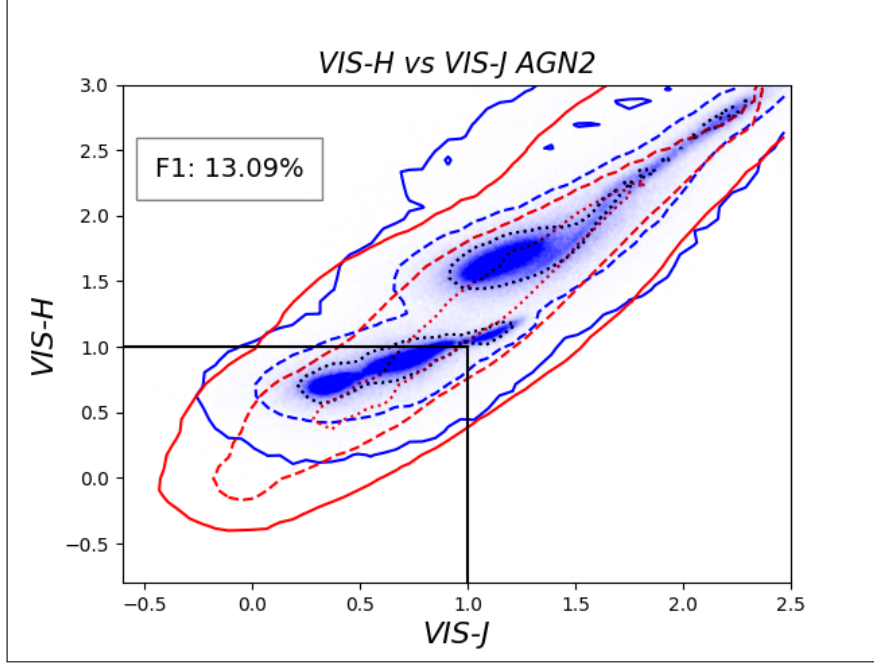


Figura 3.5: Grafico della coppia di punti VIS-J vs. VIS-H, i punti blu indicano gli AGN II, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-J < 1.00$  e  $VIS-H < 1.00$ .

	AGN	NON AGN	MIXING AGN	MIXING NON AGN
<b>VIS-Y</b>	$0.991 \pm 0.353$	$0.705 \pm 0.372$	86.18 %	65.22 %
<b>VIS-J</b>	$1.392 \pm 0.429$	$0.938 \pm 0.438$	82.63 %	57.51 %
<b>VIS-H</b>	$1.763 \pm 0.501$	$1.130 \pm 0.514$	78.10 %	49.18 %
<b>Y-J</b>	$0.401 \pm 0.261$	$0.232 \pm 0.242$	84.40 %	82.54 %
<b>Y-H</b>	$0.772 \pm 0.321$	$0.424 \pm 0.293$	72.81 %	59.85 %
<b>J-H</b>	$0.371 \pm 0.217$	$0.191 \pm 0.221$	78.98 %	69.12 %

Tabella 3.8: Medie di colori di tutti gli AGN e dei NON AGN della survey Wide nei sei colori di Euclid con relativo mixing.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(VIS-Y, VIS-H)</b>	1.60	2.30	67.62 %
<b>(VIS-J, VIS-H)</b>	1.72	1.91	65.78 %
<b>(VIS-H, Y-H)</b>	2.10	1.30	66.78 %
<b>(VIS-J, Y-H)</b>	2.00	1.20	54.43 %

Tabella 3.9: Tabella dei quattro grafici colore - colore, con relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “a rettangolo” di tutti gli AGN nella survey Wide.

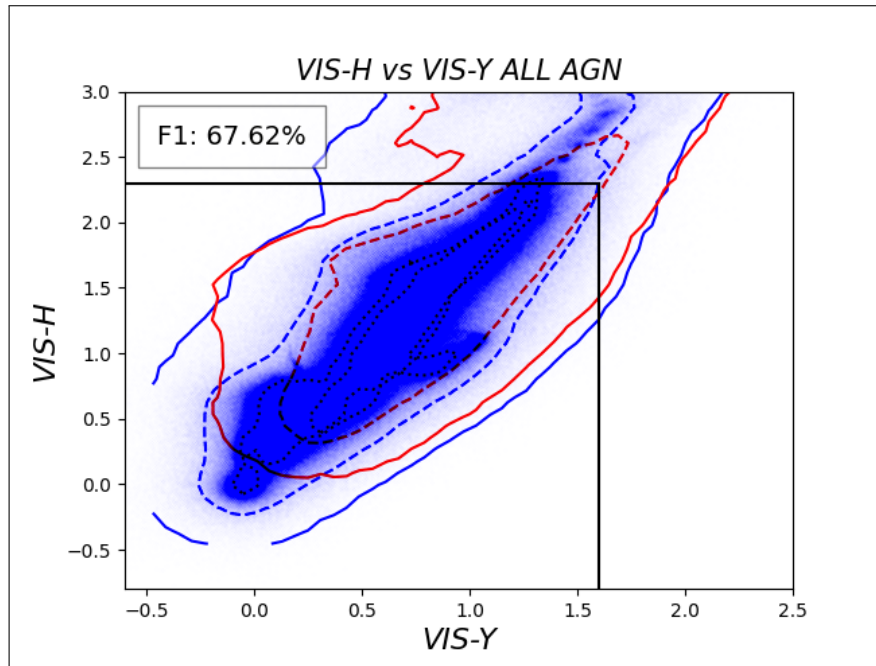


Figura 3.6: Grafico della coppia di punti VIS-Y vs. VIS-H, i punti blu indicano tutti i tipi di AGN, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-Y < 1.60$ ,  $VIS-H < 2.30$ .

### 3.1.4 Filtri LSST

La missione Euclid dovrebbe essere accompagnata da osservazioni da terra con i filtri u, g, r, i, z, che coprono lunghezze d'onda minori rispetto a quelli di Euclid, osservando dall'ultravioletto al visibile ( $\lambda \sim 0.3 - 1 \mu\text{m}$ ). Utilizzando il catalogo di SPRITZ che simula questi cinque filtri nel telescopio del Vera C. Rubin Observatory<sup>1,2</sup> (LSST, Ivezić et al. 2008 [16]), abbiamo cercato di individuare una selezione migliore di quelle precedenti. Abbiamo utilizzato tre tipi di colori impiegando rispettivamente solo filtri Euclid (che abbiamo già analizzato nelle sezioni precedenti), solo filtri LSST o un filtro Euclid e uno LSST.

Seguendo lo stesso ordine adottato in precedenza, abbiamo cercato di isolare prima gli AGN I, poi gli AGN II e infine tutti i tipi di AGN. In tabella 3.10 sono riportate le medie di AGN I e dei NON AGN I per i colori costruiti con solo filtri LSST e colori con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN I dal resto delle galassie. I colori costruiti con solo filtri LSST hanno dei mixing bassi che non superano mai il 21.55%, mentre i colori costruiti con un filtro LSST e un filtro Euclid hanno un minimo di 89.60%.

	AGN I	NON AGN I	MIXING AGN I	MIXING NON AGN I
<b>u-i</b>	$0.431 \pm 0.288$	$1.514 \pm 0.561$	13.71 %	4.04 %
<b>u-z</b>	$0.525 \pm 0.326$	$1.702 \pm 0.581$	12.08 %	3.13 %
<b>g-i</b>	$0.212 \pm 0.208$	$0.841 \pm 0.445$	19.65 %	3.86 %
<b>g-z</b>	$0.307 \pm 0.257$	$1.028 \pm 0.527$	21.55 %	4.16 %
<b>u-H</b>	$-0.701 \pm 2.317$	$0.946 \pm 3.413$	89.60 %	10.23 %
<b>i-Y</b>	$-1.447 \pm 2.091$	$-1.086 \pm 3.357$	95.67 %	55.53 %
<b>g-H</b>	$-0.941 \pm 2.227$	$0.391 \pm 3.587$	92.42 %	15.83 %

Tabella 3.10: Medie di colori degli AGN I e dei NON AGN I della survey Wide nei sette colori ottenibili con solo filtri LSST e con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN I dal resto delle galassie.

Abbiamo poi costruito diversi grafici colore - colore a cui abbiamo applicato la selezione “*a rettangolo*” descritta dall'equazione 3.1. La tabella 3.11 mostra i valori di  $a$  e  $b$  per le selezioni con il fattore  $F1$  più alto.

<sup>1</sup><https://www.lsst.org/>

<sup>2</sup>L'osservatorio Vera C. Rubin è in costruzione in Cile e avrà uno specchio primario dal diametro di 8.4 m. LSST è una camera da 64 cm di diametro montata sul telescopio stesso.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(u-z,g-z)</b>	1.27	0.81	86.00 %
<b>(u-i,g-z)</b>	1.19	0.78	85.86 %
<b>(u-z,VIS-H)</b>	1.33	0.98	91.78 %
<b>(g-z,VIS-H)</b>	0.68	1.02	86.63 %
<b>(u-H,u-z)</b>	8.00	1.21	85.32 %
<b>(g-H,g-z)</b>	8.00	0.65	82.67 %

Tabella 3.11: Tabella dei grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “*a rettangolo*” degli AGN I nella survey Wide con l’ausilio di filtri LSST.

In figura 3.8 riportiamo il grafico u-z vs. VIS-H corrispondente alla miglior selezione con colori LSST e Euclid, separatamente. La miglior separazione si ottiene applicando la selezione  $u-z < 1.33$  e  $VIS-H < 0.98$ , che restituisce un valore di  $F1$  di 91.78 %. Se invece si considerano colori ottenuti mischiando filtri Euclid e LSST, il miglior risultato si ottiene con i colori u-H vs. i-Y. Per questo grafico, data la disposizione degli oggetti, abbiamo analizzato un’ulteriore selezione composta da una sola retta, la cui miglior parametrizzazione risulta essere  $i-Y > u-H - 1.27$ , che mostriamo in figura 3.7. Questa separazione da come risultato un fattore  $F1$  di 87.80 % che risulta però inferiore rispetto al migliore della selezione “*a rettangolo*”.

L’utilizzo sia di filtri LSST che Euclid permette quindi di alzare il valore massimo di  $F1$  di oltre il 15 %, e in generale tutte le selezione sopra riportate restituiscono un valore di  $F1$  maggiore di quello massimo ottenuto con soli filtri Euclid, pari a 75.66 %.

Abbiamo ripetuto gli stessi passaggi per isolare gli AGN II individuando i colori costruiti con soli filtri LSST o con un filtro LSST e uno Euclid che meglio li separano dal resto delle galassie. In tabella 3.12 riportiamo le medie di AGN II e NON AGN II per tali colori.

Anche qui vi è una differenza tra colori costruiti con solo filtri LSST, che hanno un mixing intorno al 40 %, e colori costruiti con un filtro LSST e un filtro Euclid, che hanno mixing mediamente più alti e mai più basso di 65.93 %.

Dei diversi grafici colore - colore ottenibili, la tabella 3.13 riporta quelli per cui la selezione “*a rettangolo*” fornisce un fattore  $F1$  maggiore, con relativi valori di  $a$  e  $b$ .

In figura 3.9 riportiamo il grafico u-z vs. VIS-H. Applicando la selezione  $g-z < 2.61$  e  $VIS-H < 1.02$  si ottiene il massimo valore di  $F1$ , pari a 12.34 %. Anche utilizzando filtri LSST e Euclid questo valore è molto minore rispetto a quello minimo per gli AGN I, ma è in linea con i valori per la selezione degli AGN II che utilizzano solo filtri Euclid.

La stessa operazione è stata ripetuta un’ultima volta per isolare tutti i tipi di AGN. In tabella 3.14 riportiamo le medie degli AGN e dei NON AGN dei colori costruiti con



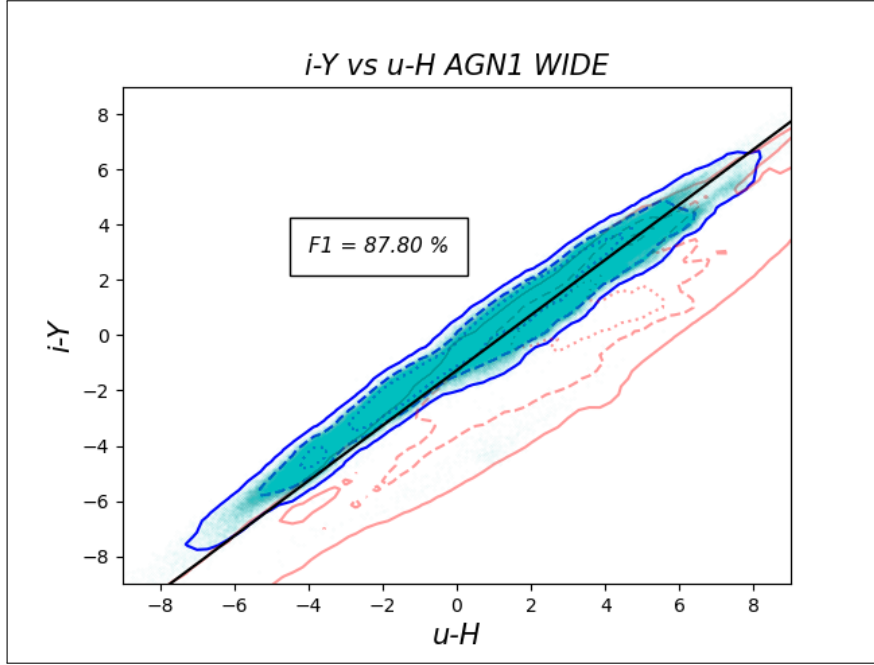


Figura 3.7: Grafico colore-colore  $u-H$  vs.  $i-Y$ , i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $i-Y > u-H - 1.27$ .

	<b>AGN II</b>	<b>NON AGN II</b>	<b>MIXING AGN II</b>	<b>MIXING NON AGN II</b>
<b>u-z</b>	$2.601 \pm 0.877$	$1.694 \pm 0.585$	36.99 %	64.48 %
<b>g-z</b>	$2.049 \pm 0.705$	$1.022 \pm 0.527$	39.76 %	56.11 %
<b>r-i</b>	$0.725 \pm 0.332$	$0.311 \pm 0.242$	38.02 %	48.93 %
<b>u-H</b>	$2.685 \pm 1.521$	$0.934 \pm 3.411$	65.93 %	86.15 %
<b>g-H</b>	$2.009 \pm 1.483$	$0.381 \pm 3.582$	82.39 %	85.33 %
<b>r-H</b>	$1.219 \pm 1.447$	$-0.223 \pm 3.474$	85.24 %	86.23 %

Tabella 3.12: Medie di colori degli AGN II e dei NON AGN II della survey Wide nei sei colori ottenibili con solo filtri LSST e con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN II dal resto delle galassie.

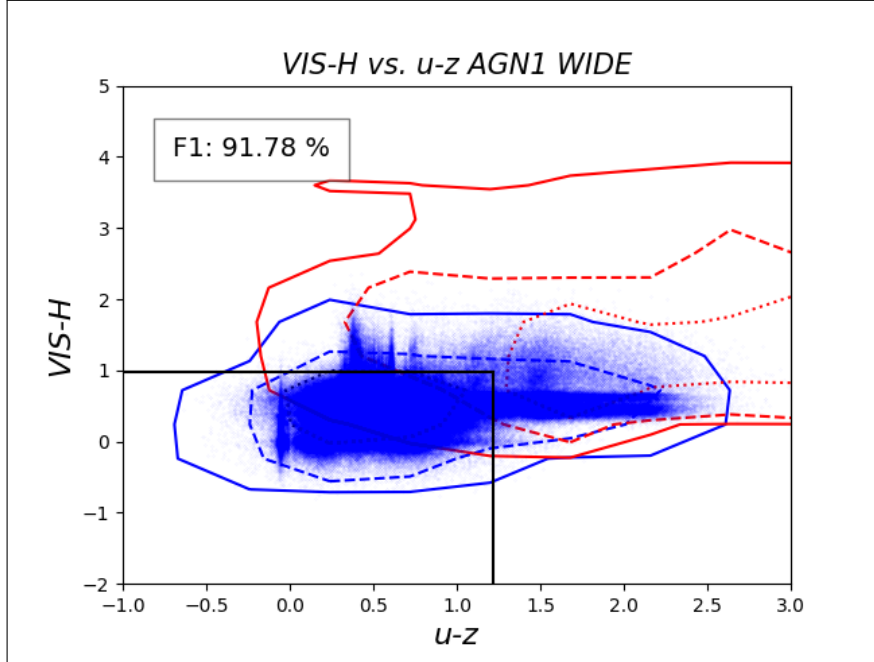


Figura 3.8: Grafico colore-colore  $u-z$  vs.  $VIS-H$ , i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $u-z < 1.33$  e  $VIS-H < 0.98$ .

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(u-z,r-i)</b>	4.24	1.66	11.06 %
<b>(g-z,r-i)</b>	2.46	0.91	10.93 %
<b>(u-z,VIS-H)</b>	4.72	1.00	12.26 %
<b>(g-z,VIS-H)</b>	2.61	1.02	12.34 %
<b>(u-H,u-z)</b>	6.12	4.79	9.44 %
<b>(g-H,g-z)</b>	4.74	2.54	9.33 %

Tabella 3.13: Tabella dei grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “a rettangolo” degli AGN II nella survey Wide con l’ausilio di filtri LSST.

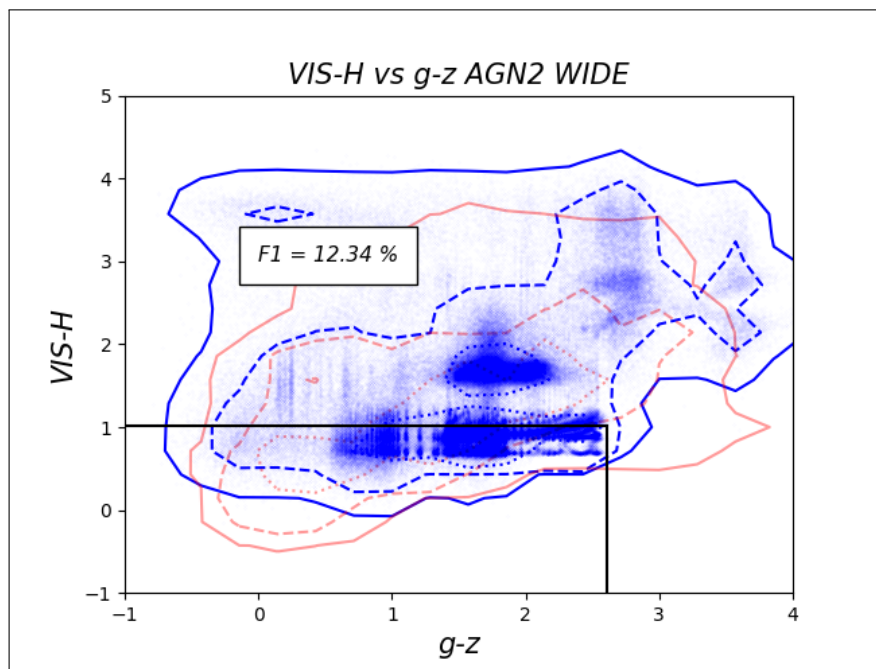


Figura 3.9: Grafico colore-colore  $g-z$  vs.  $VIS-H$ , i punti blu indicano gli AGN II, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $g-z < 2.61$  e  $VIS-H < 1.02$ .

soli filtri LSST o con un filtro LSST e uno Euclid che meglio li separano dal resto delle galassie.

I colori costruiti con due filtri LSST hanno un mixing massimo di 71.77 % mentre i colori costruiti con un filtro LSST e un filtro Euclid hanno un mixing minimo di 89.04 %.

	AGN	NON AGN	MIXING AGN	MIXING NON AGN
<b>u-r</b>	$0.729 \pm 0.608$	$1.249 \pm 0.495$	62.33 %	32.55 %
<b>g-r</b>	$0.495 \pm 0.333$	$0.528 \pm 0.296$	71.77 %	48.88 %
<b>i-z</b>	$0.384 \pm 0.221$	$0.164 \pm 0.152$	64.49 %	71.80 %
<b>u-H</b>	$2.209 \pm 1.127$	$0.723 \pm 3.612$	89.04 %	92.40 %
<b>g-H</b>	$2.965 \pm 1.039$	$0.117 \pm 3.782$	94.21 %	88.99 %
<b>i-H</b>	$0.961 \pm 0.901$	$-0.875 \pm 3.531$	92.47 %	87.99 %

Tabella 3.14: Medie di colori di tutti i tipi di AGN e dei NON AGN della survey Wide nei sei colori ottenibili con solo filtri LSST e con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN dal resto delle galassie.

I grafici colore - colore dai quali si ricavano i maggiori fattori  $F1$  sono riportati in tabella 3.15 con relativi valori di  $a$  e  $b$ .

	a	b	F1
<b>(u-r,g-r)</b>	2.23	1.18	74.66 %
<b>(g-r,i-z)</b>	1.18	1.29	73.65 %
<b>(u-r,VIS-H)</b>	2.22	4.00	73.80 %
<b>(g-r,VIS-H)</b>	1.20	2.80	72.90 %
<b>(u-H,u-r)</b>	5.26	2.66	71.69 %
<b>(g-H,u-r)</b>	3.75	2.88	71.21 %

Tabella 3.15: Tabella dei grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore  $F1$  per la selezione “*a rettangolo*” di tutti gli AGN nella survey Wide con l’ausilio di filtri LSST.

In figura 3.10 riportiamo il grafico u-r vs. g-r. Applicando la selezione  $u-r < 2.23$  e  $g-r < 1.18$  si ottiene il massimo valore di  $F1$ , pari a 74.66 %. La miglior selezione che fa uso sia di filtri LSST che Euclid è  $u-r < 2.22$  e  $VIS-H < 4.00$  da cui si ricava un fattore  $F1$  di 73.80 %. Il miglior modo di separare tutti gli AGN sembra quindi basato su soli

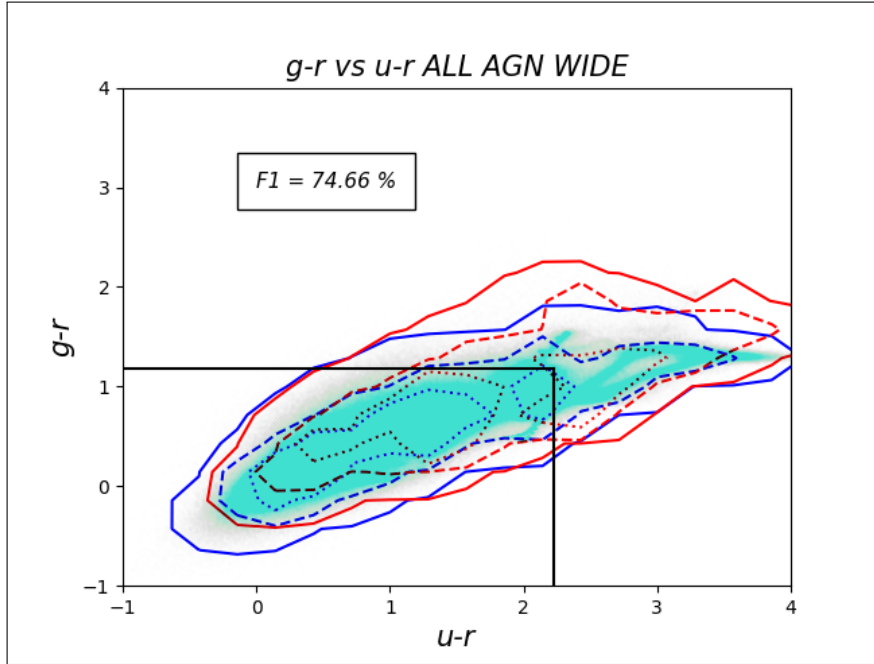


Figura 3.10: Grafico colore-colore  $u-r$  vs.  $g-r$ , i punti ciano indicano tutti i tipi di AGN, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $u-r < 2.23$  e  $g-r < 1.18$ .

filtri LSST che migliorano la selezione di tutti gli AGN fatta con solo filtri Euclid, da cui si otteneva un valore massimo di  $F1$  di 67.62%.

In definitiva l'ausilio dei filtri LSST migliora notevolmente la selezione degli AGN I, mentre lascia per lo più invariate le selezioni di AGN II e tutti i tipi di AGN. Nonostante infatti la selezione di tutti i tipi di AGN abbia un fattore  $F1$  maggiore rispetto a quello ottenuto utilizzando solo filtri Euclid, le due popolazioni di galassie si sovrappongono in colore, rendendo vana la selezione.

## 3.2 Selezione nella Euclid Deep Survey

Simili selezioni sono state analizzate anche per le galassie simulate nella survey Deep, escludendo tutte quelle che hanno un rapporto segnale su rumore (S/N), in tutti i filtri Euclid, minore di tre, come in sezione 3.1, per cercare di eliminare i punti di minore qualità. A differenza della survey Wide, però, la survey Deep bilancia la maggiore profondità osservativa, la quale permette di avere errori fotometrici minori e osservare galassie

più deboli, con una riduzione dell'area di osservazione e una conseguente riduzione nel numero di galassie nel campione.

### 3.2.1 AGN I

In tabella 3.16 sono riportate le medie di AGN I e dei NON AGN I per ogni colore, con relativo mixing, per la survey Deep. I colori che includono il filtro VIS hanno un mixing minore del 20 % e il colore Y-H ha un mixing del 74.58 %. I primi hanno mixing minore rispetto a quelli nella survey wide, mentre il colore Y-H ha un mixing maggiore.

	AGN I	NON AGN I	MIXING AGN I	MIXING NON AGN I
<b>VIS-Y</b>	$0.217 \pm 0.201$	$0.723 \pm 0.371$	19.03 %	15.88 %
<b>VIS-J</b>	$0.359 \pm 0.196$	$0.987 \pm 0.455$	15.16 %	10.95%
<b>VIS-H</b>	$0.488 \pm 0.211$	$1.209 \pm 0.543$	16.22 %	11.43 %
<b>Y-J</b>	$0.141 \pm 0.209$	$0.264 \pm 0.258$	76.40 %	56.03 %
<b>Y-H</b>	$0.271 \pm 0.226$	$0.486 \pm 0.347$	74.58 %	35.71 %
<b>J-H</b>	$0.128 \pm 0.215$	$0.222 \pm 0.231$	77.05 %	61.87 %

Tabella 3.16: Medie di colori degli AGN I e dei NON AGN I della survey Deep nei sei colori di Euclid con relativo mixing

### Selezione “a rettangolo”

Con i quattro colori che meglio separano gli AGN I abbiamo costruito quattro grafici colore - colore ai quali abbiamo applicato la selezione base “*a rettangolo*”. In tabella 3.17 sono riportati i valori di  $a$  e  $b$  per ogni grafico e il relativo fattore  $F1$ .

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(VIS-Y, VIS-J)</b>	0.37	0.37	49.41 %
<b>(VIS-Y, VIS-H)</b>	0.28	0.71	57.85 %
<b>(VIS-J, VIS-H)</b>	0.36	0.73	52.46 %
<b>(VIS-J, Y-H)</b>	0.38	0.71	50.96 %

Tabella 3.17: Tabella dei quattro grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “*a rettangolo*” degli AGN I nella survey Deep.

La miglior separazione si ottiene applicando la selezione  $VIS-Y < 0.28$  e  $VIS-H < 0.71$ , che restituisce un valore di  $F1$  di 57.85%, come mostrato in figura 3.11. I colori che compongono questa selezione sono gli stessi della miglior selezione di AGN I nella survey Wide con filtri Euclid (vedi figura 3.1) ma a differenza di quest'ultima il fattore  $F1$  è minore di circa il 20%.

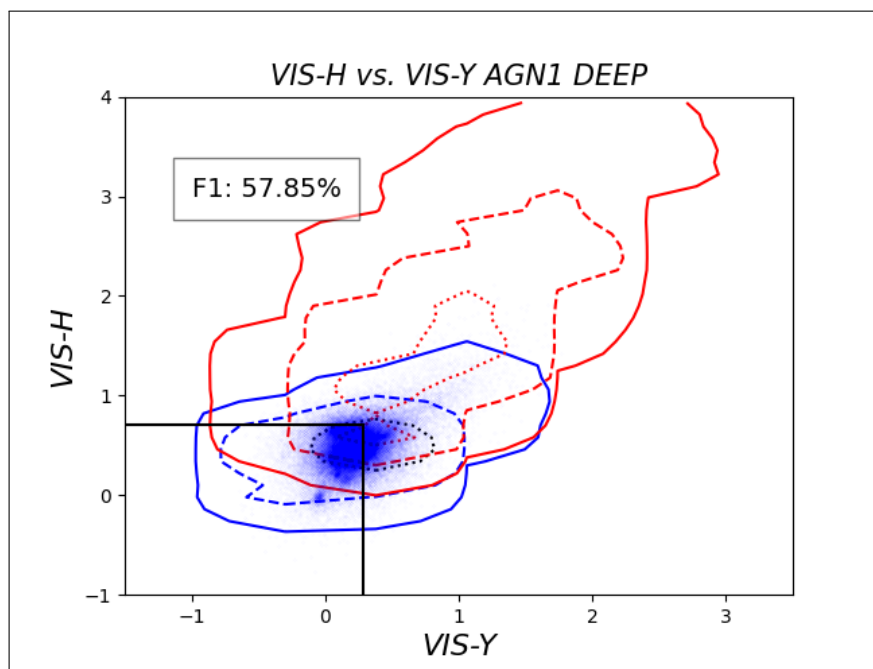


Figura 3.11: Grafico colore-colore VIS-Y vs. VIS-H, i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-Y < 0.28$  e  $VIS-H < 0.71$ .

### Selezione a 3 colori

Anche per gli AGN I della survey Deep è stata applicata una selezione “*a cubo*”, considerando una terna di colori. In tabella 3.18 sono riportate le terne di colori considerate, i relativi valori di  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e il fattore  $F1$ .

La migliore selezione, mostrata in figura 3.12, è data da  $VIS-Y < 0.27$ ,  $VIS-J < 0.52$  e  $Y-H < 0.73$ , ed ha un fattore  $F1$  di 57.31%. La selezione “*a cubo*” migliora quindi, di poco, la più semplice selezione “*a rettangolo*” ma è peggiore della medesima selezione “*a cubo*” per la survey Wide (vedi figura 3.4).

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>F1</b>
<b>(VIS-Y, VIS-J, VIS-H)</b>	0.42	0.37	0.76	52.91 %
<b>(VIS-Y, VIS-J, Y-H)</b>	0.27	0.52	0.73	57.31 %
<b>(VIS-J, VIS-H, Y-H)</b>	0.37	0.76	0.83	52.62 %

Tabella 3.18: Tabella delle terne di colori con i relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione "a cubo" degli AGN I nella survey Deep.

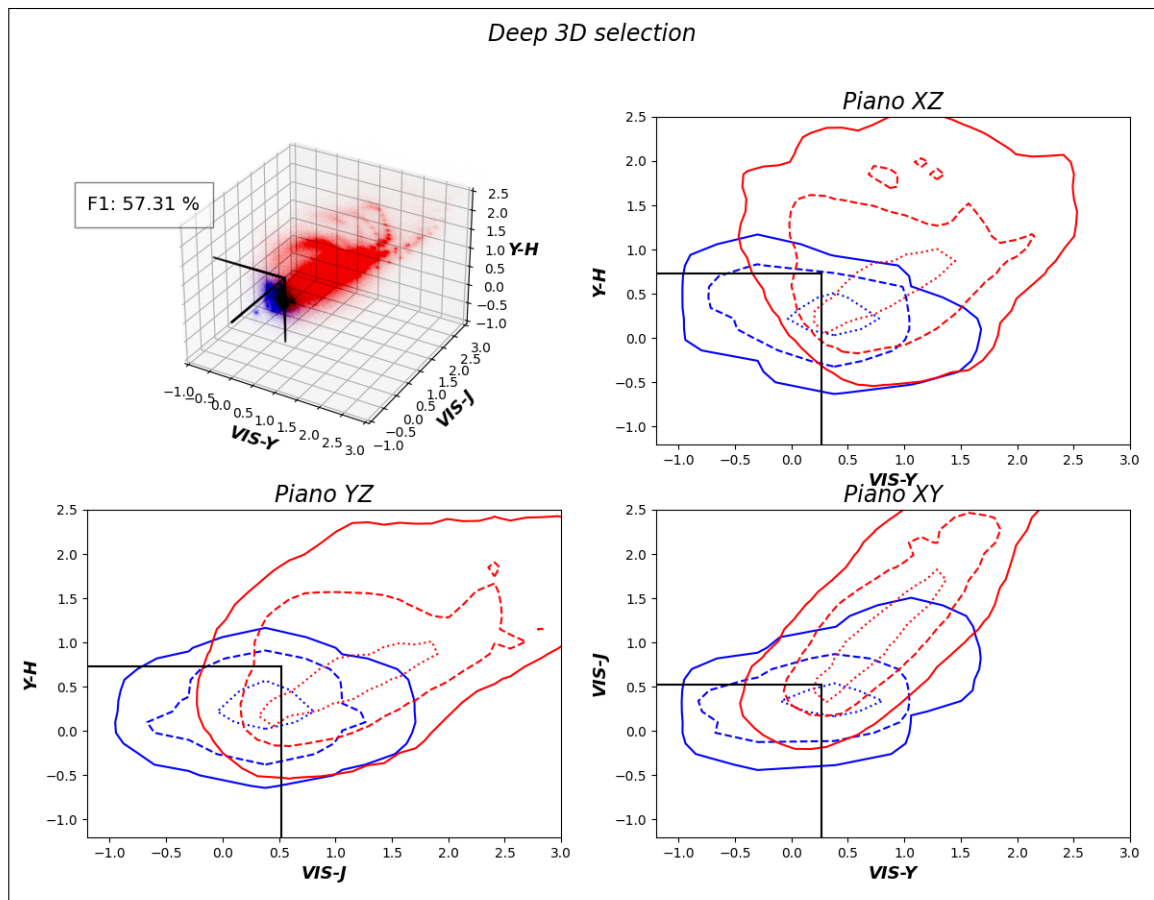


Figura 3.12: Grafico della terna di punti (VIS-Y,VIS-J,Y-H), i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-Y < 0.27$ ,  $VIS-J < 0.52$  e  $Y-H < 0.73$ . Il fattore  $F1$  vale 57.31 %.



### 3.2.2 AGN II

Una volta completata la selezione degli AGN I, abbiamo ripetuto gli stessi passaggi per isolare gli AGN II. In tabella 3.19 sono riportate le medie di AGN II e NON AGN II, e relativi mixing, per i sei colori di Euclid nella survey Deep. I valori di mixing sono più alti rispetto a quelli degli AGN I, e sono compresi in un range 30% - 55%, ma rimangono più bassi rispetto alla survey Wide che hanno un minimo di 60.15%.

	AGN II	NON AGN II	MIXING AGN II	MIXING NON AGN II
<b>VIS-Y</b>	$1.068 \pm 0.427$	$0.720 \pm 0.371$	55.71 %	62.27 %
<b>VIS-J</b>	$1.633 \pm 0.691$	$0.984 \pm 0.455$	39.86 %	62.48 %
<b>VIS-H</b>	$2.167 \pm 0.832$	$1.205 \pm 0.543$	27.54 %	51.91 %
<b>Y-J</b>	$0.565 \pm 0.446$	$0.264 \pm 0.258$	49.85 %	87.89 %
<b>Y-H</b>	$1.099 \pm 0.644$	$0.485 \pm 0.346$	35.59 %	67.96 %
<b>J-H</b>	$0.534 \pm 0.318$	$0.221 \pm 0.231$	45.23 %	62.41 %

Tabella 3.19: Medie di colori degli AGN II e dei NON AGN II della survey Deep nei 6 colori di Euclid con relativo mixing.

### Selezione “a rettangolo”

Anche per gli AGN II abbiamo operato una selezione “a rettangolo” sui grafici colore - colore. In tabella 3.20 sono riportati i relativi risultati. La selezione VIS-J < 2.00 e VIS-H < 2.40 è quella che restituisce il valore maggiore di F1, pari a 0.99%, mostrata in figura 3.13.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(VIS-Y, VIS-H)</b>	1.30	1.20	0.48 %
<b>(VIS-J, VIS-H)</b>	2.00	2.40	0.99 %
<b>(VIS-J, Y-H)</b>	2.00	1.00	0.76 %
<b>(VIS-H, Y-H)</b>	2.60	1.30	0.91 %

Tabella 3.20: Tabella dei quattro grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore F1 per la selezione “a rettangolo” degli AGN II nella survey Deep.

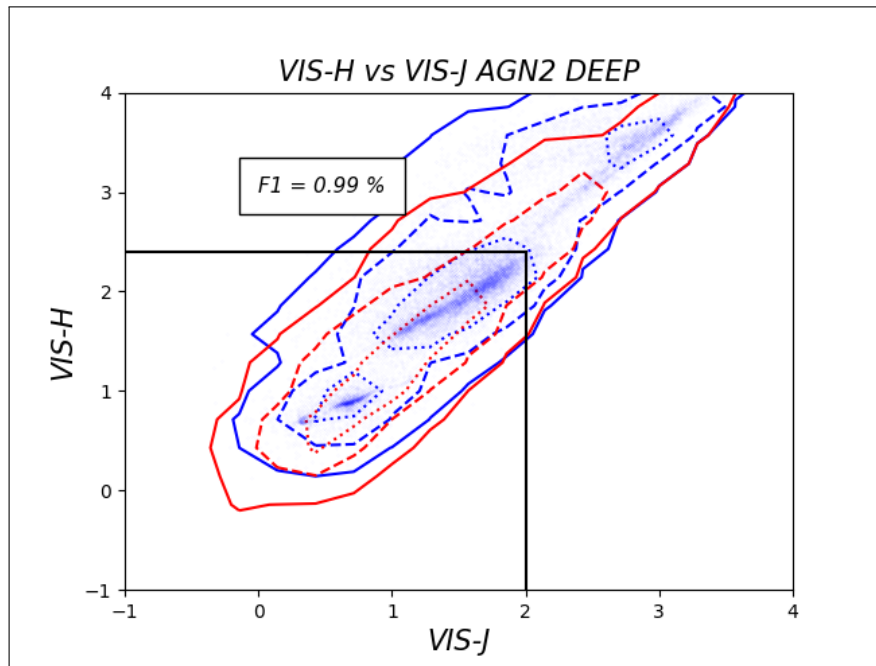


Figura 3.13: Grafico colore-colore VIS-J vs. VIS-H, i punti blu indicano gli AGN II, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-J < 2.00$  e  $VIS-H < 2.40$ .

Questa selezione ha un fattore  $F1$  di molto minore sia rispetto al massimo valore per gli AGN I, pari a 57.31 %, che al massimo valore per gli AGN II nella survey Wide, pari a 13.09 %.

### 3.2.3 ALL AGN

La tabella 3.21 mostra le medie pesate per tutti i tipi di AGN e per tutte le altre galassie con relativo mixing nei sei colori Euclid per la survey Deep. I valori di mixing hanno un minimo di 51.07 % e sono più alti rispetto a quelli degli AGN I e AGN II, ma sono più bassi di quelli della survey Wide, che hanno un minimo di 72.81 %.

	AGN	NON AGN	MIXING AGN	MIXING NON AGN
<b>VIS-Y</b>	$0.949 \pm 0.374$	$0.695 \pm 0.362$	68.64 %	63.45 %
<b>VIS-J</b>	$1.383 \pm 0.458$	$0.940 \pm 0.434$	59.67 %	56.15 %
<b>VIS-H</b>	$1.793 \pm 0.527$	$1.141 \pm 0.506$	51.07 %	46.28 %
<b>Y-J</b>	$0.433 \pm 0.257$	$0.245 \pm 0.251$	71.42 %	78.13 %
<b>Y-H</b>	$0.844 \pm 0.364$	$0.446 \pm 0.321$	55.31 %	55.01 %
<b>J-H</b>	$0.410 \pm 0.233$	$0.201 \pm 0.221$	65.32 %	61.81 %

Tabella 3.21: Medie di colori di tutti gli AGN e dei NON AGN della survey Deep nei sei colori di Euclid con relativo mixing.

### Selezione “a rettangolo”

La tabella 3.22 mostra i risultati della selezione “*a rettangolo*” per isolare tutti i tipi di AGN.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(VIS-Y,VIS-H)</b>	1.70	3.00	50.39 %
<b>(VIS-J,VIS-H)</b>	3.00	3.00	50.43 %
<b>(VIS-J,Y-H)</b>	3.00	2.50	50.92 %
<b>(VIS-H,Y-H)</b>	3.00	3.00	50.43 %

Tabella 3.22: Tabella dei quattro grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore  $F1$  per la selezione “*a rettangolo*” di tutti gli AGN nella survey Deep.

La miglior separazione si ottiene applicando la selezione  $VIS-J < 3.00$  e  $Y-H < 2.50$ , che restituisce un valore di  $F1$  di 50.92 %, come mostrato in figura 3.14.

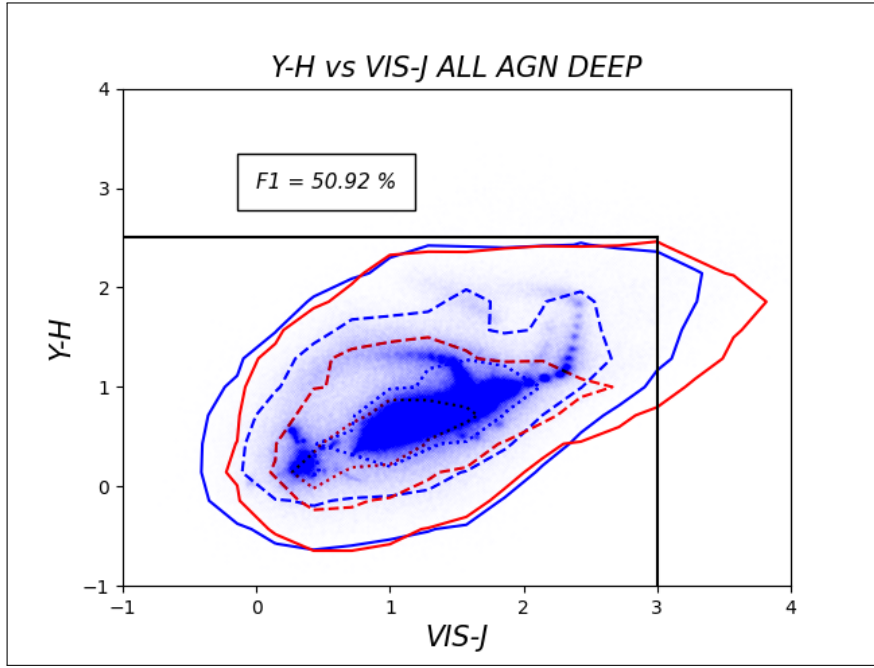


Figura 3.14: Grafico della coppia di punti  $VIS-J$  vs.  $Y-H$ , i punti blu indicano tutti i tipi di AGN, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $VIS-J < 3.00$ ,  $Y-H < 2.50$ .

Il valore di  $F1$  di questa selezione è confrontabile con quello massimo per gli AGN I, ma è minore di circa il 20 % rispetto a quello massimo per tutti i tipi di AGN nella survey Wide.

### 3.2.4 Filtri LSST

Abbiamo ripetuto l'analisi svolta nella sezione 3.1.4 anche per la survey Deep, cercando di migliorare le selezioni precedenti utilizzando i filtri LSST. La tabella 3.23 riporta le medie di AGN I e dei NON AGN I per i colori costruiti con solo filtri LSST e con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN I dal resto delle galassie.

I colori costruiti con filtri LSST hanno un mixing che si aggira attorno al 10 % mentre quelli costruiti con un filtro LSST e un filtro Euclid hanno un minimo di 65.06 %.

	AGN I	NON AGN I	MIXING AGN I	MIXING NON AGN I
<b>u-z</b>	$0.602 \pm 0.557$	$1.673 \pm 0.414$	4.06 %	8.68 %
<b>g-r</b>	$0.153 \pm 0.238$	$0.610 \pm 0.270$	12.51 %	21.33 %
<b>g-i</b>	$0.290 \pm 0.320$	$0.979 \pm 0.402$	8.30 %	14.52 %
<b>u-H</b>	$0.131 \pm 2.336$	$-0.232 \pm 1.593$	69.88 %	95.38 %
<b>g-H</b>	$-0.055 \pm 2.335$	$-0.773 \pm 1.725$	65.06 %	92.44 %

Tabella 3.23: Medie di colori degli AGN I e dei NON AGN I della survey Deep nei cinque colori ottenibili con solo filtri LSST e con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN I dal resto delle galassie.

Abbiamo poi costruito diversi grafici colore - colore a cui abbiamo applicato la selezione “*a rettangolo*”. La tabella 3.24 mostra i valori di *a* e *b* per le selezioni con il valore di *F1* più alto.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(u-z,g-r)</b>	0.51	0.55	48.09 %
<b>(u-z,g-i)</b>	0.51	0.65	48.07 %
<b>(u-z,VIS-H)</b>	0.83	0.73	74.55 %
<b>(g-z,VIS-H)</b>	0.48	0.73	69.49 %
<b>(u-H,g-z)</b>	1.63	0.47	54.85 %
<b>(g-H,g-z)</b>	1.56	0.47	52.55 %

Tabella 3.24: Tabella dei grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore *F1* per la selezione “*a rettangolo*” degli AGN I nella survey Deep con l’ausilio di filtri LSST.

La selezione  $u-z < 0.83$  e  $VIS-H < 0.73$  permette di ottenere il massimo valore di *F1*, pari a 74.55 %, come mostrato in figura 3.15. Anche nella survey Deep l’utilizzo dei filtri LSST migliora la selezione rispetto ai soli filtri Euclid, permettendo di alzare di quasi il 20 % il valore massimo di *F1* per la selezione degli AGN I, pari a 57.85 %.

Ripetendo gli stessi passaggi per gli AGN II, riportiamo in tabella 3.25 le medie degli AGN II e dei NON AGN II dei colori costruiti con soli filtri LSST o con un filtro LSST e uno Euclid che meglio li separano. I colori costruiti con un filtro LSST e uno Euclid hanno un mixing più alto di circa il 20 % rispetto a quelli costruiti con solo filtri LSST, che hanno un minimo di 35.71 %.

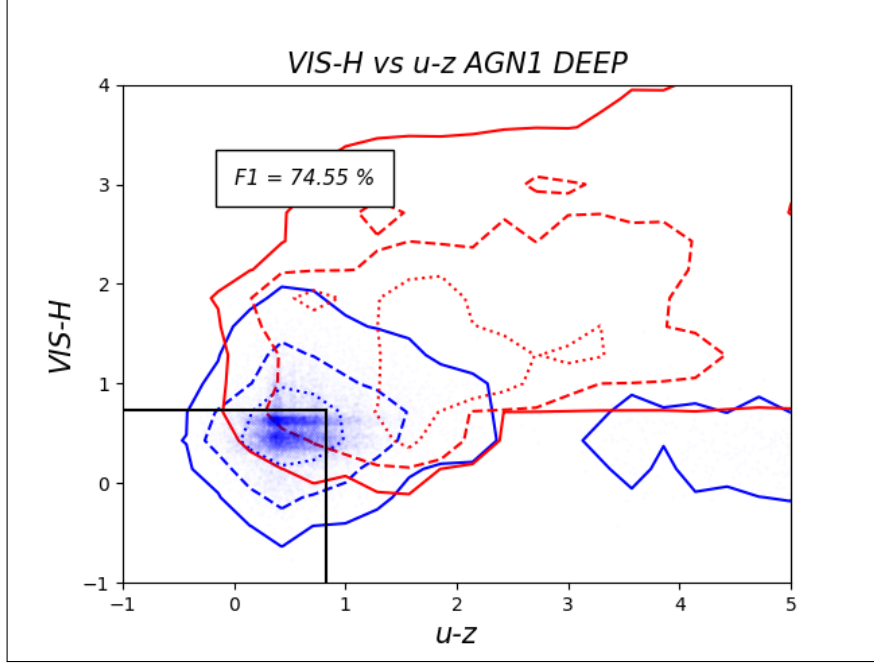


Figura 3.15: Grafico colore-colore  $u-z$  vs.  $VIS-H$ , i punti blu indicano gli AGN I, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $u-z < 0.83$  e  $VIS-H < 0.73$ .

	AGN II	NON AGN II	MIXING AGN II	MIXING NON AGN II
<b>u-i</b>	$1.123 \pm 0.957$	$1.514 \pm 0.399$	35.71 %	78.32 %
<b>u-z</b>	$1.321 \pm 1.008$	$1.672 \pm 0.416$	37.51 %	77.26 %
<b>g-r</b>	$0.360 \pm 0.390$	$0.605 \pm 0.271$	40.25 %	57.20 %
<b>g-i</b>	$0.628 \pm 0.594$	$0.978 \pm 0.403$	41.59 %	55.45 %
<b>g-H</b>	$-0.134 \pm 2.349$	$-0.771 \pm 1.727$	76.17 %	92.86 %
<b>r-H</b>	$-0.621 \pm 2.481$	$-1.433 \pm 1.632$	68.45 %	93.33 %

Tabella 3.25: Medie di colori degli AGN II e dei NON AGN II della survey Deep nei sei colori ottenibili con solo filtri LSST e con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN II dal resto delle galassie.

Dei diversi grafici colore - colore ottenibili, la tabella 3.26 riporta quelli per cui la selezione “a rettangolo” fornisce un fattore  $F1$  maggiore, con relativi valori di  $a$  e  $b$ .

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(u-z,g-r)</b>	0.43	0.31	8.73 %
<b>(u-z,g-i)</b>	0.42	0.39	9.01 %
<b>(u-i,VIS-H)</b>	1.00	1.20	0.59 %
<b>(g-r,VIS-H)</b>	1.00	3.60	0.37 %
<b>(g-H,u-i)</b>	7.00	0.85	1.32 %
<b>(r-H,g-r)</b>	6.00	0.15	1.58 %

Tabella 3.26: Tabella dei grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore  $F1$  per la selezione “a rettangolo” degli AGN II nella survey Deep con l’ausilio di filtri LSST.

La miglior selezione, mostrata in figura 3.16, è  $u-z < 0.42$  e  $g-i < 0.39$ , che restituisce un valore di  $F1$  di 9.01 %. Questa selezione migliora quelle operate con solo filtri Euclid, che hanno un valore massimo di  $F1$  di 0.99 %, ma rimane di molto inferiore a tutte le selezioni per gli AGN I. I filtri LSST da soli sembrano essere la migliore soluzione per isolare gli AGN, anche se il fattore  $F1$  rimane comunque molto basso.

La stessa operazione è stata ripetuta un’ultima volta per isolare tutti i tipi di AGN. La tabella 3.27 mostra le medie degli AGN e dei NON AGN dei colori costruiti con solo filtri LSST o con un filtro LSST e un filtro Euclid che meglio li separano dal resto delle galassie. I valori di mixing dei due tipi di colori sono confrontabili, ed hanno un minimo di 39.44 %.

	<b>AGN</b>	<b>NON AGN</b>	<b>MIXING AGN</b>	<b>MIXING NON AGN</b>
<b>u-r</b>	$0.837 \pm 0.534$	$1.100 \pm 0.400$	50.89 %	59.22 %
<b>g-r</b>	$0.516 \pm 0.321$	$0.609 \pm 0.268$	67.96 %	63.41 %
<b>r-z</b>	$0.852 \pm 0.328$	$0.516 \pm 0.286$	49.63 %	64.29 %
<b>g-H</b>	$1.012 \pm 1.349$	$-0.871 \pm 1.691$	43.91 %	67.25 %
<b>r-H</b>	$0.481 \pm 1.405$	$-1.540 \pm 1.577$	39.44 %	63.07 %

Tabella 3.27: Medie di colori degli AGN e dei NON AGN della survey Deep nei cinque colori ottenibili con solo filtri LSST e con filtri LSST e Euclid che meglio separano gli AGN dal resto delle galassie.

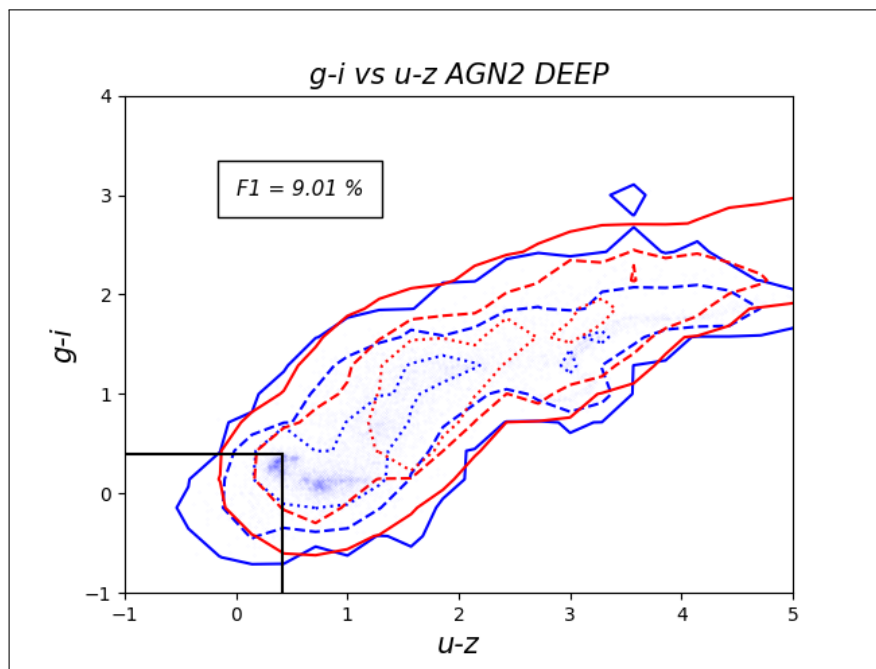


Figura 3.16: Grafico colore-colore  $u-z$  vs.  $g-i$ , i punti blu indicano gli AGN II, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $u-z < 0.42$  e  $g-i < 0.39$ .



I grafici colore - colore dai quali si ricavano i maggiori fattore  $F1$  sono riportati in tabella 3.28 con relativi valori di  $a$  e  $b$ .

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>F1</b>
<b>(u-r,g-r)</b>	1.22	0.73	45.94 %
<b>(u-r,r-z)</b>	1.05	1.10	46.38 %
<b>(u-r,VIS-H)</b>	1.11	2.28	43.56 %
<b>(r-z,VIS-H)</b>	1.50	2.80	34.09 %
<b>(g-H,u-r)</b>	2.23	1.12	49.20 %
<b>(g-H,r-z)</b>	2.15	2.00	40.20 %

Tabella 3.28: Tabella dei grafici colore-colore, con relativi limiti superiori e fattore  $F1$  per la selezione “*a rettangolo*” di tutti gli AGN nella survey Deep con l’ausilio di filtri LSST.

In figura 3.17 riportiamo il grafico g-H vs. u-r. La selezione  $g-H < 2.23$  e  $u-r < 1.12$  restituisce il maggior valore di  $F1$ , pari a 49.20 %. L’utilizzo di filtri LSST non migliora la selezione di tutti gli AGN fatta con solo filtri Euclid, che ha un valore massimo di  $F1$  di 50.92 %.

Utilizzando i filtri LSST si riesce quindi a migliorare la selezione degli AGN I e degli AGN II derivata con i soli filtri Euclid nella survey Deep. Nonostante ciò la selezione degli AGN II rimane inconcludente non superando mai il valore di 10 % per  $F1$ , e tutte le selezioni in generale sono minori rispetto a quelle della survey Wide di circa il 20 %. Questo è probabilmente dovuto all’inclusione, nella survey Deep, di una popolazione di AGN meno luminosi di quelli osservabili nella survey Wide i quali, però, risultato essere più difficili da distinguere da galassie non attive.

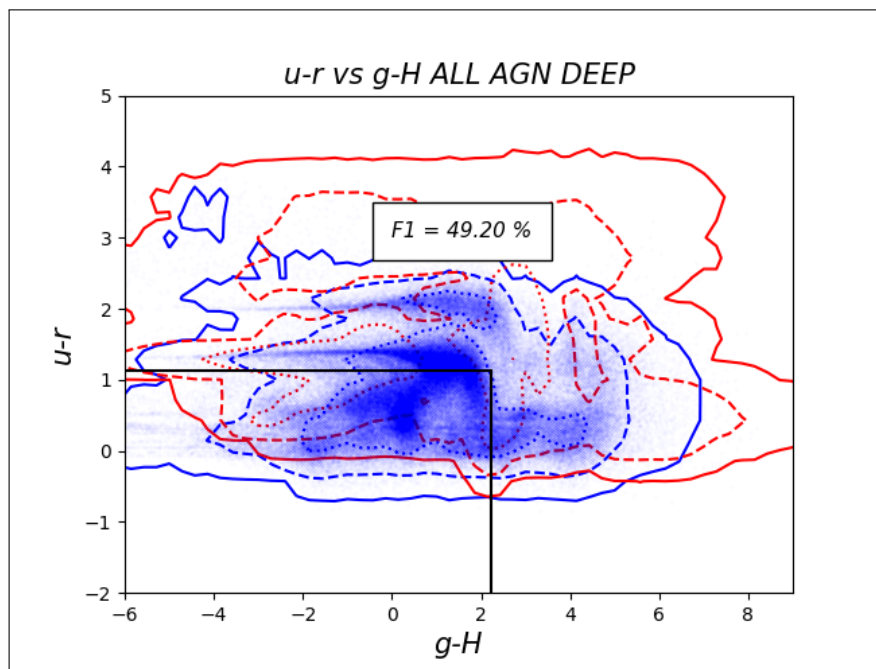


Figura 3.17: Grafico colore-colore  $g-H$  vs.  $u-r$ , i punti blu indicano tutti i tipi di AGN, le linee blu i contorni della loro distribuzione, e le linee rosse i contorni della distribuzione di tutte le altre galassie. Le linee di contorno puntate, tratteggiate e continue contengono rispettivamente il 68, 95 e 99.7% della distribuzione. In nero è evidenziata la selezione corrispondente a  $g-H < 2.23$  e  $u-r < 1.12$ .

# Conclusioni

Gli AGN sono sorgenti astrofisiche estremamente luminose, alimentate da fenomeni legati all'accrescimento di materia su un buco nero supermassiccio che gli permettono di emettere energia in tutte le bande elettromagnetiche. Lo studio di questi oggetti è volto a descrivere l'impatto che hanno sulla formazione stellare della galassia ospitante, ovvero sulla sua evoluzione. Se ci si focalizza sulla classificazione degli AGN, l'aspetto critico che differenzia gli AGN è l'oscuramento prodotto dalla polvere circum-nucleare (detta "toro"). La differenza tra AGN I e AGN II in prima approssimazione è dovuta all'angolo tra la linea di vista e il piano del disco di accrescimento. Negli AGN II questo angolo è piccolo e il toro di polvere oscura l'emissione del disco di accrescimento.

La missione spaziale Euclid, il cui lancio è previsto per la fine del 2022, è un'occasione per studiare gli AGN poichè osserverà milioni di galassie. Vi è però il bisogno di cercare nuovi criteri di selezione poichè, dato il range di lunghezze d'onda coperto dai filtri di Euclid ( $\lambda \sim 0.5 - 2 \mu\text{m}$ ), le selezioni già disponibili, quali quelle basate su osservazioni nel medio-infrarosso, non saranno utilizzabili. Le osservazioni di Euclid saranno inoltre supportate da osservazioni da terra con filtri a lunghezze d'onda minori ( $\lambda \sim 0.3 - 1 \mu\text{m}$ ), come i cinque filtri del telescopio LSST.

In questa tesi abbiamo utilizzato la simulazione SPRITZ per cercare dei criteri colore - colore nelle due survey di Euclid, i quali sono preferibili a metodi più complessi per la loro semplicità e velocità d'utilizzo. Abbiamo cercato prima di isolare gli AGN I e gli AGN II separatamente e, infine, cercato di isolare AGN I, AGN II e AGN compositi insieme, utilizzando come indicatore della qualità della selezione il fattore  $F1$ , corrispondente alla media armonica tra completezza e purezza (vedi equazione 2.2).

In tutti i grafici colore - colore prodotti, gli AGN I occupano una zona separata del grafico e le selezioni nella survey Wide che fanno uso solo dei filtri Euclid hanno un valore  $F1$  massimo di 75.66 %, ottenuto dalla selezione a tre colori  $\text{VIS-J} < 0.82$ ,  $\text{VIS-H} < 0.72$  e  $\text{Y-H} < 1.3$  (vedi figura 3.4). Includendo anche i filtri LSST si raggiunge il valore massimo del fattore  $F1$  tra tutte le selezioni, pari a 91.78 %, ottenuto dalla selezione  $u-z < 1.33$  e  $\text{VIS-H} < 0.98$  (vedi figura 3.8). Le selezioni degli AGN I nella survey Deep sono meno efficaci, raggiungendo un massimo del valore di  $F1$  di 74.55 % con la selezione  $u-z < 0.83$  e  $\text{VIS-H} < 0.73$  (vedi figura 3.15), che scende a 57.85 % se si escludono i filtri LSST, con la selezione  $\text{VIS-Y} < 0.28$  e  $\text{VIS-H} < 0.71$  (vedi figura 3.11). I filtri ottici, quindi,

migliorano notevolmente la selezione degli AGN I sia nella survey Wide che nella survey Deep.

Selezionare gli AGN II risulta invece molto più problematico. Poichè il toro di polvere assorbe i fotoni provenienti dal disco di accrescimento, i filtri di Euclid, che coprono la banda ottica e vicino-infrarossa, rischiano di confondere l'emissione dell'AGN con quella della galassia ospitante. I bassi valori di  $F1$  in tutte le selezioni che coinvolgono gli AGN II confermano questa difficoltà. In tutti i grafici in cui compaiono gli AGN II le distribuzioni di questi ultimi e di tutte le altre galassie si sovrappongono, rendendo impossibile separarli dal resto delle galassie. Nella survey Wide il massimo valore di  $F1$ , pari a 13.02 %, è inferiore di quasi l'80 % rispetto a quello per gli AGN I, ed è ottenuto dalla selezione  $VIS-J < 1.00$  e  $VIS-H < 1.00$  (vedi figura 3.5). Il massimo valore di  $F1$  per gli AGN II nella survey Deep è pari a 9.01 %, inferiore di quasi il 70 % rispetto a quello per gli AGN I, ed è ottenuto dalla selezione  $u-z < 0.42$  e  $g-i < 0.39$ .

Anche isolare tutti i tipi di AGN si è rivelato problematico. Nonostante i valori di  $F1$  simili a quelli per gli AGN I, nei grafici che coinvolgono tutti i tipi di AGN notiamo che le due distribuzioni si sovrappongono e che la migliore selezione è così ampia da comprendere quasi tutte le galassie, perdendo la sua funzione di selezione. L'alto valore di  $F1$  è dato dall'alto numero di oggetti "true positive" (vedi equazione 2.2), poichè la somma di tutti i tipi di AGN è più della metà di tutte le galassie. In futuro questo aspetto verrà investigato ulteriormente tenendo conto della densità delle varie popolazioni e non solo del flusso limite della survey. Il maggior valore per  $F1$  nella survey Wide è 74.66 % ed è dato dalla selezione  $u-r < 2.23$  e  $g-r < 1.18$  (vedi figura 3.10) mentre per la survey Deep è dato dalla selezione  $VIS-J < 3.00$  e  $Y-H < 2.50$  e vale 50.92 % (vedi figura 3.14).

Questa tesi ha quindi mostrato come la selezione degli AGN I dovrebbe essere relativamente più facile, per la missione Euclid, rispetto alla selezione degli AGN II o di tutti i tipi di AGN. Questa tesi ha inoltre fornito dei criteri che possono aiutare l'identificazione degli AGN I che fanno uso dei soli filtri Euclid, ma soprattutto anche dei filtri del telescopio LSST.

# Appendice

Viene qui riportato il codice che è stato usato per ottenere i grafici presenti nella tesi. È riportato in particolare il codice che ha prodotto la figura 3.1. È scritto in linguaggio python e utilizza il pacchetto Table di Astropy per leggere dati da tabelle .fits, la libreria Numpy per la creazione di array, la libreria SciPy per l'interpolazione e la libreria Matplotlib per graficare i risultati. La parte di codice che calcola i contorni delle selezioni è stata fornita dalla dottoressa Laura Bisigello.

```
1 from astropy.table import Table
2 from scipy import interpolate
3 import numpy as np
4 import matplotlib.pyplot as plt
5
6 #lettura dati
7 data = Table.read('wide_agn.fits')
8 data1 = Table.read('wide_not_agn.fits')
9
10 #valori della selezione
11 A=0.85
12 B=0.72
13
14 #grafica i dati
15 plt.plot(data['VIS-Y'],data['VIS-H'],'o',markersize = 0.1,alpha = 0.1,color = 'blue')
16 plt.plot(data1['VIS-Y'],data1['VIS-H'],'o',markersize = 0.1,alpha = 0.,color = 'red')
17
18
19 #linee di selezione
20 x=np.linspace(A,A,100)
21 y=np.linspace(-10,B,100)
22 a=np.linspace(-10,A,100)
23 b=np.linspace(B,B,100)
24
25 plt.plot(x,y, color = 'black')
26 plt.plot(a,b, color = 'black')
27
28
29
```

```

30 #Contorni1
31 counts,xbins,ybins = np.histogram2d(data['VIS-Y'], data['VIS-J'],bins=70,
32 range=[[-10,10],[-10,10]])
33 counts=counts/counts.sum() # normalizza counts
34 t = np.linspace(0, counts.max(), 100)
35 integral = ((counts >= t[:, None, None]) * counts).sum(axis=(1,2))
36 f = interpolate.interp1d(integral, t) #interpola la relazione tra counts e integral
37 # per derivare qual è il count al quale è associato un certo contorno
38 t_contours = f(np.array([0.997,0.95,0.68])) #68, 95, 99.7% contorni
39 ind=np.where(counts>=t_contours[0])
40 countsSF=counts
41 CS=plt.contour(xbins[1:]-xbins[1]-xbins[0])/2,ybins[1:]-ybins[1]-ybins[0])/2,
42 counts.T,extent=[xbins.min(),xbins.max(),ybins.min(),ybins.max()], levels=t_contours,
43 linewidths=1.5, linestyles=('solid','dashed','dotted'),colors='b') # contorni
44
45
46
47
48 #Contorni2
49 counts,xbins,ybins = np.histogram2d(data1['VIS-Y'], data1['VIS-J'],bins=70,
50 range=[[-10,10],[-10,10]])
51 counts=counts/counts.sum() # normalizza counts
52 t = np.linspace(0, counts.max(), 100)
53 integral = ((counts >= t[:, None, None]) * counts).sum(axis=(1,2))
54 f = interpolate.interp1d(integral, t) #interpola la relazione tra counts e integral
55 # per derivare qual è il count al quale è associato un certo contorno
56 t_contours = f(np.array([0.997,0.95,0.68])) #68, 95, 99.7% contorni
57 ind=np.where(counts>=t_contours[0])
58 countsSF=counts
59 CS=plt.contour(xbins[1:]-xbins[1]-xbins[0])/2,ybins[1:]-ybins[1]-ybins[0])/2,
60 counts.T,extent=[xbins.min(),xbins.max(),ybins.min(),ybins.max()], levels=t_contours,
61 linewidths=1.5, linestyles=('solid','dashed','dotted'),colors='b') # contorni
62
63
64
65 #titolo e assi
66 plt.xlabel('VIS-H', style = 'italic', size=15)
67 plt.ylabel('VIS-Y', style = 'italic',size=15)
68 plt.xlim(-1,4)
69 plt.ylim(-1,4)
70 plt.title('VIS-H vs VIS-Y', style = 'italic', size=15)
71 plt.text(0, 3, 'F1 = 75.59 %', style='italic', size = 11,
72         bbox={'facecolor': 'white','pad': 10})
73
74
75
76 plt.show()

```

# Bibliografia

- [1] Daniel Stern et al. «Mid-Infrared Selection of Active Galaxies.» In: *ApJ* 631.163 (2005). URL: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0410523>.
- [2] J. L. Donley et al. «Identifying Luminous Active Galactic Nuclei in Deep Surveys: Revised IRAC Selection Criteria.» In: *ApJ* 748.142 (2012). URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012ApJ...748..142D/abstract>.
- [3] Triana Almeyda et al. «Modeling the Infrared Reverberation Response of the Circumnuclear Dusty Torus in AGNs: An Investigation of Torus Response Functions.» In: *ApJ* 891.26 (2020). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ab6aa1/meta>.
- [4] A. Feltre et al. «Smooth and clumpy dust distributions in AGN: a direct comparison of two commonly explored infrared emission models.» In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 426.1 (2012), pp. 120–127. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.21695.x>.
- [5] C. Gruppioni et al. «The Herschel PEP/HerMES luminosity function - I. Probing the evolution of PACS selected Galaxies to  $z \simeq 4$ .» In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 432.1 (2013), pp. 23–52. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2013MNRAS.432...23G/abstract>.
- [6] G.G. Fazio et al. «The Infrared Array Camera (IRAC) for the Spitzer Space Telescope.» In: *ApJS* 154.1 (2004), pp. 10–17. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2004ApJS..154...10F/exportcitation>.
- [7] J. Fritz et al. «Revisiting the infrared spectra of active galactic nuclei with a new torus emission model .» In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 366.3 (2006), pp. 767–786. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2006.09866.x>.
- [8] L. Bisigello et al. «Euclid: the selection of quiescent and star-forming galaxies using observed colours.» In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 494.2 (2020), pp. 2337–2354. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/staa885>.

- [9] L. Bisigello et al. «Simulating the infrared sky with a SPRITZ.» In: *Astronomy & Astrophysics* 651.A52 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039909>.
- [10] M. Nankova et al. «AGN Dusty Tori. I. Handling of Clumpy Media.» In: *ApJ* 685.1 (2008), pp. 147–159. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2008ApJ...685..147N/abstract>.
- [11] M. Nankova et al. «AGN Dusty Tori. II. Observational Implications of Clumpiness.» In: *The American Astronomical Society* 685.160 (2008). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/590483>.
- [12] M. Polletta et al. «Spectral Energy Distributions of Hard X-Ray Selected Active Galactic Nuclei in the XMM-Newton Medium Deep Survey.» In: *ApJ* 663.81 (2007). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/518113>.
- [13] M.W. Werner et al. «The Spitzer Space Telescope Mission.» In: *ApJS* 154.1 (2004). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/422992>.
- [14] Philp F. Hopkins et al. «Do we expect most AGN to live in discs?.» In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 445.1 (2014), pp. 823–834. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stu1736>.
- [15] Philp F. Hopkins et al. «Stellar and quasar feedback in concert: effects on AGN accretion, obscuration, and outflows.» In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 458.1 (2016), pp. 816–831. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016MNRAS.458..816H>.
- [16] Z. Ivezić et al. «Large Synoptic Survey Telescope: From Science Drivers To Reference Design.» In: *Serbian Astronomical Journal* 176 (2008), pp. 1–13. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2008SerAJ.176...1I/abstract>.
- [17] Appunti dal corso di *Astrofisica* della prof. F. Pozzi.
- [18] Peterson B. «The Broad-Line Region in Active Galactic Nuclei». In: *Physics of Active Galactic Nuclei at all Scales. Lecture Notes in Physics*. A cura di Lira P. Alloin D. Johnson R. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1007/3-540-34621-X\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-34621-X_3).
- [19] C. Ricci C.R. Almeida. «Nuclear obscuration in active galactic nuclei.» In: *Nat Astron* 1 (2017), pp. 679–689. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41550-017-0232-z>.
- [20] Attilio Ferrari. *Stelle, galassie e universo - Fondamenti di astrofisica*. UNITEXT - Collana di Fisica e Astronomia. Springer, 2011. ISBN: 9788847018327.
- [21] Christopher Harrison. «Observational constraints on the influence of active galactic nuclei on the evolution of galaxies». Tesi di dott. Durham University, set. 2014. URL: <http://etheses.dur.ac.uk/10744>.



- [22] C. Megan Urry e P. Padovani. «Unified Schemes for Radio-Loud Active Galactic Nuclei.» In: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 107 (1995), p. 803. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1995PASP..107..803U>.
- [23] Richard W. Pogge. «Narrow-line Seyfert 1s: 15 years later». In: 44.7-9 (set. 2000), pp. 381–385. DOI: 10.1016/S1387-6473(00)00065-8. arXiv: astro-ph/0005125 [astro-ph].
- [24] P. Padovani D.M. Alexander R.J. Assef et al. «Active galactic nuclei: what’s in a name?.» In: *Astron Astrophys Rev* 25.2 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00159-017-0102-9>.
- [25] Joseph Silk e Martin J. Rees. «Quasars and galaxy formation». In: *Astronomy and Astrophysics* 331 (mar. 1998), pp. L1–L4. arXiv: astro-ph/9801013 [astro-ph].