

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Fisica

Tesi di Laurea

Caratterizzazione dei parametri operativi dello
strumento NISP della missione Euclid

Relatore

Dr. Chiara Sirignano

Correlatore

Dr. Stefano Dusini

Laureanda

Michela Salinaro

Anno Accademico 2019/2020

Indice

1	La missione spaziale Euclid	3
1.1	Introduzione alla missione	3
1.1.1	Il satellite Euclid	4
1.1.2	Sequenza nominale di osservazione	4
1.2	Lo strumento NISP	5
2	Analisi dati	9
2.1	Presentazione del test	9
2.2	Elaborazione dei dati	11
2.2.1	Instrument Control Unit (ICU)	11
2.2.2	Data Processing Unit (DPU)	12
2.3	Conclusioni	18

Abstract

Euclid è una missione spaziale della *European Space Agency* (ESA) appartenente al programma *Cosmic Vision* 2015-2025. Lo scopo della missione è interamente scientifico ed è quello di indagare questioni cosmologiche aperte come la natura della materia, dell'energia oscura, della gravità dell'universo e l'evoluzione delle strutture cosmiche. La missione è una *survey* in banda visibile e nel vicino infrarosso; il satellite Euclid sarà messo in orbita tramite il veicolo Soyuz dal centro spaziale europeo di Kourou (Guiana francese) intorno al punto lagrangiano L2 del sistema Sole-Terra, a 1.5 milioni di chilometri dalla Terra e osserverà un'area di 15000 deg^2 in 6 anni.

I principali componenti del satellite sono un telescopio di 1,2 m di diametro in configurazione Korsch e due strumenti: il *Visual Instrument* (VIS) e il *Near Infrared Spectro-Photometer* (NISP).

Nel presente lavoro di tesi si introducono gli elementi descrittivi della missione spaziale e la strumentazione di bordo, in particolare ci si sofferma sul ciclo di osservazione e sulla descrizione dello strumento NISP. Si procede quindi con l'analisi di dati di un test effettuato il 9-10 febbraio 2020 presso il Laboratorio di Astrofisica di Marsiglia. Il test fa parte di una campagna di test svolta nei mesi di gennaio e febbraio per validare lo strumento NISP prima della sua integrazione sul satellite Euclid.

Capitolo 1

La missione spaziale Euclid

1.1 Introduzione alla missione

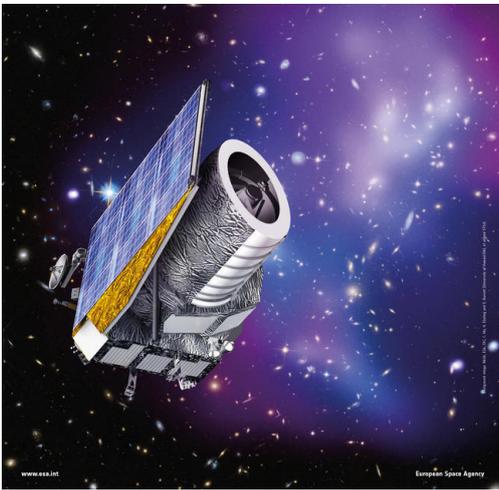


Figura 1.1: Rappresentazione del satellite Euclid [1].

materia oscura mentre il restante 68.8% è energia oscura. Gli effetti dell'energia oscura e della gravità verranno analizzati utilizzando due effetti cosmologici complementari che permetteranno di isolare i segni distintivi delle velocità dell'espansione dell'universo e della crescita delle strutture cosmiche: l'effetto delle *Weak gravitational Lensing*, ovvero lo studio della distorsione delle galassie lontane dovuta alla presenza di materia oscura tra galassia e osservatore, e il *Galaxy Clustering*, lo studio della distribuzione degli ammassi di galassie.

Gli spettri di emissione delle galassie sono stati osservati per la prima volta all'inizio dello scorso secolo. Le linee spettrali degli elementi noti risultavano facilmente riconoscibili, ma spostate dalle posizioni misurate in laboratorio, dove le sorgenti risultavano essere a riposo. Le righe erano spostate verso l'estremità blu dello spettro per le galassie più lontane (effetto di *blueshift*), mentre per le galassie oltre il nostro Gruppo Locale le linee risultavano tendere verso il rosso (effetto di *redshift*). Il tutto viene spiegato dall'effetto Doppler dovuto al moto relativo delle galassie.

Lo spostamento verso il rosso z è definito come : $\lambda_{mis} = \lambda_{eme}(1 + z)$ dove λ_{mis} è la lunghezza d'onda misurata mentre λ_{eme} quella emessa dalla sorgente.

Edwin P. Hubble¹ fu il primo a misurare le distanze delle galassie, egli scoprì che tutte le galassie, ad esclusione di quelle più vicine a noi, si allontanano in modo lineare rispetto alle loro distanze con velocità di recessione $v = H_0 D$ dove H_0 è la costante di Hubble. La miglior stima della costante di

¹Edwin Powell Hubble (1889–1953) è stato un astronomo e astrofisico statunitense.

Hubble risulta essere $H_0 = (67.74 \pm 0.46) \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

L'esistenza di un campo di energia oscura con pressione negativa porterebbe ad un'espansione cosmica che sta accelerando al momento attuale. La missione effettuerà osservazioni sia spettroscopiche sia fotometriche in un intervallo di *redshift* compreso tra 0 e 2.

1.1.1 Il satellite Euclid

Il satellite è composto da due moduli.

Il modulo di servizio *Service Module* (SVM) ospita tutti i sistemi di servizio del satellite e l'elettronica per la gestione e analisi dati degli strumenti scientifici: sensori, giroscopi, propulsori, sistemi di controllo, serbatoi di idrazina e gas, sistema di comunicazione, sistema di regolazione termica e il pannello solare (protegge il *Payload Module* dal Sole e fornisce energia elettrica). Il modulo viene tenuto ad una temperatura costante di 280 K.

Il *Payload Module* (PLM) ospita un telescopio a tre specchi in carburo di silicio di 1,2 m di diametro in configurazione Korsch e i due strumenti scientifici VIS e NISP in grado di acquisire immagini a differenti lunghezze d'onda. Il PLM si trova a temperatura minore rispetto al SVM così da garantire il corretto funzionamento dei rivelatori e mantenere la stabilità termica del telescopio; Il VIS opera nel visibile ($550 \text{ nm} < \lambda < 900 \text{ nm}$), raccoglie immagini di galassie ed è costituito da più componenti: un piano focale, un meccanismo di otturazione che chiude il cammino ottico e un'unità di calibrazione. Il NISP, operante nell'intervallo di redshift $0.9 < z < 1.8$ (vicino infrarosso), lavora in due modalità, spettroscopia *slitless* e *imaging* fotometrico. Lo strumento è in grado di passare da una modalità all'altra per mezzo del sistema ottico implementato. Gli strumenti sono progettati per eseguire una *survey* in grado di sondare circa il 36% del cielo. Il telescopio indirizza la luce ai due strumenti. La separazione della luce tra i due strumenti avviene grazie un filtro dicroico (*beam splitter*) tale da trasmettere la luce entro un determinato intervallo di lunghezze d'onda e di riflettere il resto. Il fascio trasmesso viene proiettato sul piano focale di NISP, mentre il fascio riflesso entra nel percorso ottico che porta allo strumento VIS. Entrambi gli strumenti hanno un ampio campo visivo comune di circa $0,54 \text{ gradi}^2$.

1.1.2 Sequenza nominale di osservazione

Le osservazioni del cielo verranno effettuate in modalità *step and stare* grazie alla tecnica del *dithering* dell'immagine, ovvero piccoli movimenti nella posizione del telescopio. Ogni campo visivo viene osservato contemporaneamente sia dal VIS che dal NISP.

Il ciclo di osservazione nominale per ogni campo visivo è composto da una sequenza di quattro esposizioni intervallate da passi di *dither*. Un *dither* è un gruppo di immagini acquisite nello stesso punto ed ha lo scopo di permettere un migliore campionamento delle immagini ed eliminare gli eventi dovuti ai raggi cosmici. Ogni *dither* è composto da quattro esposizioni: la prima è per VIS e per NISP in modalità spettroscopica, le tre esposizioni successive sono fotometriche in bande differenti [Y (920-1146 nm), J (1146-1372 nm) e H (1372-2000 nm)] e richiedono la rotazione della ruota del filtro NI-FWA (si veda in seguito la sua funzione) di NISP. Il VIS chiude il proprio otturatore mentre il NISP esegue le esposizioni fotometriche per evitare che le immagini del VIS vengano disturbate dalle vibrazioni causate dall'azionamento delle ruote. Al termine della sequenza il telescopio si sposta su un altro campo; nel frattempo la NI-FWA si posiziona per compiere una misura di background. Questa misura viene detta *dark* perchè effettuata senza illuminare il piano focale. La strategia di osservazione di NISP è stata progettata per ottimizzare e massimizzare l'area osservabile; il tempo di elaborazione a bordo del NISP non deve quindi superare il tempo di acquisizione dati per un punto nel cielo.

L'intero programma di osservazione di Euclid è costituito da:

- *Wide Survey*: di interesse principalmente cosmologico, coprirà circa il 36% del cielo (15000 gradi²), ogni campo sarà osservato una sola volta. In figura 1.2 viene mostrata una schematizzazione del ciclo nominale di osservazione. La regione della *survey* evita sistematicamente il piano eclittico e il piano galattico, aree in cui si ha rumore nelle bande del V e IR a causa della densità di stelle. Questo ampio rilievo permetterà di misurare le forme e i redshift delle galassie fino a $z=2$. I redshift fotometrici saranno derivati dalle tre bande Y, J, H. Tali misure saranno integrate da informazioni provenienti dalla fotometria a terra.
- *Deep Survey*: di interesse prevalentemente astronomico ($\sim z < 8$), coprirà circa 40 gradi² vicino ai poli eclittici e aiuterà a calibrare le misure e gli algoritmi di ricostruzione del *redshift*. I campi saranno osservati periodicamente in modo tale da permettere la scoperta di luce variabile.

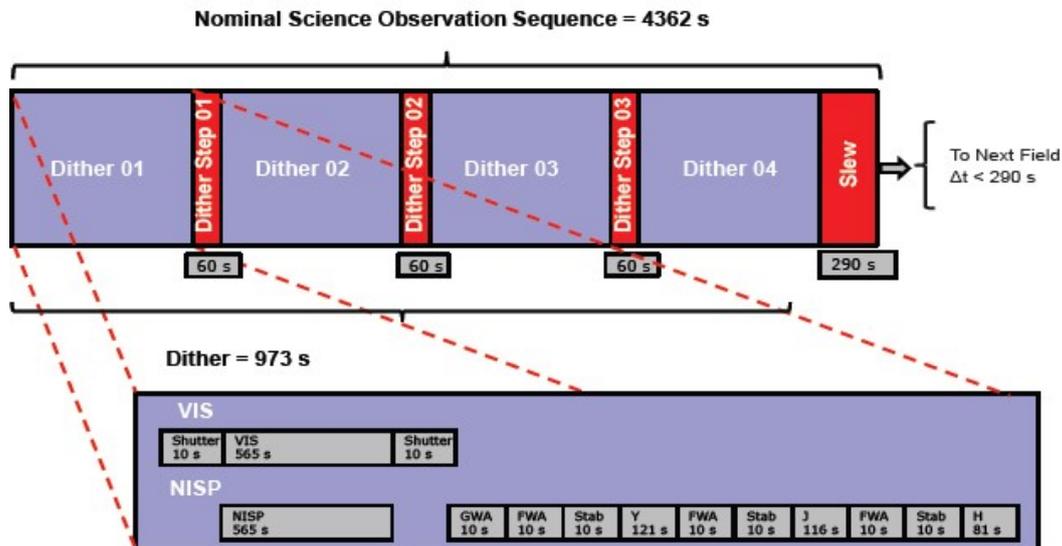


Figura 1.2: Sequenza di osservazione nominale [2].

1.2 Lo strumento NISP

Tramite lo strumento *Near-Infrared Spectro-Photometer* (figure 1.3 e 1.4) è possibile osservare le galassie nella banda del vicino infrarosso e misurarne conseguentemente il relativo *redshift* compreso tra 0.9 e 1.8. Ci sono due modalità di osservazione: una spettroscopica (per le misure di *Galaxy Clustering*), dove z si ottiene tramite misure di spostamento verso il rosso della riga di emissione dell' $H\alpha$ dell'idrogeno, e una fotometrica (per le misure di *Weak Lensing*), in cui viene misurata l'intensità della sorgente a tre diverse lunghezze d'onda. Una volta effettuate le modalità di osservazione, si procede con un confronto con lo spettro di corpo nero atteso.

Lo strumento NISP è costituito da quattro sottosistemi:

1. *2 ruote porta-filtri*: il *Filter Wheel Assembly* (NI-FWA) ospita i filtri per le osservazioni fotometriche mentre il *Grism Wheel Assembly* (NI-GWA) filtri per le misure spettroscopiche. I grism non sono altro che la combinazione di un reticolo di diffrazione con un prisma, messi in modo tale da non deviare il percorso della luce ad una certa lunghezza d'onda. Si produce quindi uno spettro centrato nella riga della lunghezza d'onda stabilita.

2. *Piano focale*: il *Detector System* (NI-DS) consiste in un array di 4 x 4 detectors H2RG (o HAWAII-2RG²). I detectors vengono mantenuti alla temperatura di 95 K. Nell'intero piano focale, in un'area di 16 x 16 cm², si hanno oltre 60 milioni di pixel in quanto ogni detector è composto da una matrice di 2048 x 2048 pixel. Ciascuna metà del piano focale (8 detectors) è collegata a una unità DPU (Data Processing Unit). La DPU si occupa del processo di acquisizione e del processamento delle immagini. Ogni pixel (dimensioni 18 x 18 μm²), può essere letto in modalità non distruttiva incrementale e ridurre il rumore del segnale tramite media. Poiché ogni pixel misura 0.3 arcsec, il campo visivo complessivo è di 0.5 deg².
3. *Warm Electronics* (NI-WE): l'elettronica calda guida le operazioni dello strumento e permette l'acquisizione sincrona dei detectors e il preprocessamento dei dati a bordo. La *Instrument Control Unit* (NI-ICU) e la *Data Processing Unit* (NI-DPU) sono le due unità che compongono la NI-WE. La DPU permette l'acquisizione delle immagini, la ICU ha controllo sulle ruote e si occupa anche della stabilità termica di NISP.
4. *Calibration Unit* (NI-CU): l'unità di calibrazione è posta vicino alle ruote portafiltri. Si utilizzano cinque LED caratterizzati da lunghezze d'onda differenti per la calibrazione e caratterizzazione in volo.

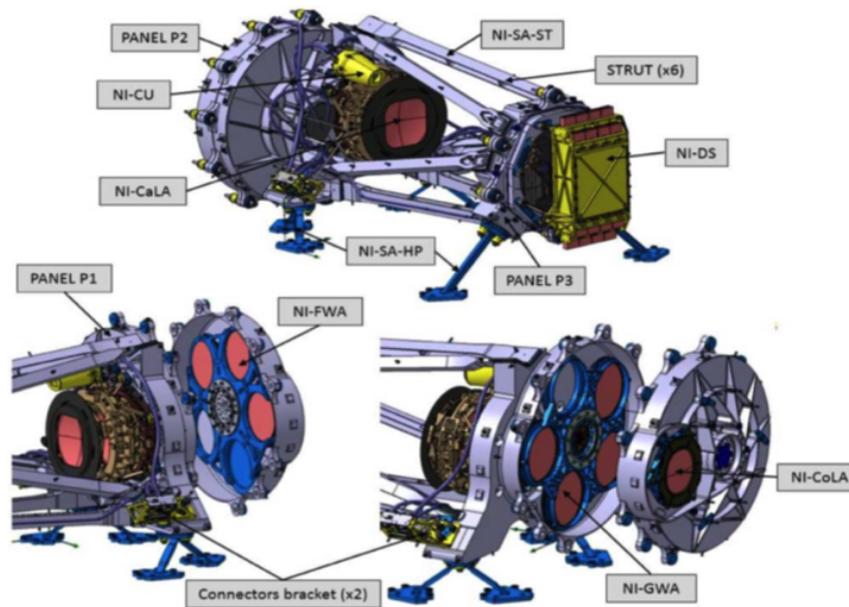


Figura 1.3: Strumento NISP [3].

NISP possiede anche due sistemi di lenti: il *Corrector Lens Assembly* (NI-CoLA) collocato tra le ruote portafiltri e la pupilla del telescopio, mira a correggere eventuali aberrazioni residue; la *Camera Lens Assembly* (NI-CaLA) posta dopo le ruote portafiltri, focalizza l'immagine sul piano focale del rivelatore.

In modalità fotometrica, le osservazioni si effettuano mantenendo aperta la NI-GWA e utilizzando i filtri della NI-FWA, uno vuoto, uno utilizzato per chiudere lo strumento e tre occupati dai filtri nelle tre bande Y, J, H. In modalità spettroscopica, le misure si ottengono mantenendo aperta la NI-FWA e utilizzando la NI-GWA ospitante 4 grisms e uno spazio vuoto. Una volta chiusa la NI-FWA si eseguono misure in *dark mode* per stimare il rumore di fondo.

Per quanto concerne il processo di acquisizione delle immagini, un elemento essenziale è il *Sensor Chip Assembly* (SCA), l'insieme dei fotodiodi e transistor componenti di ciascuno dei 16 detector del piano focale. Per ogni SCA si associa una *Sensor Chip Electronics* (SCE), con la funzione di controllare

²HAWAII-2RG è acronimo di HgCdTe (materiale semiconduttore, per effetto fotoelettrico assorbe fotoni tra $1.24 < \lambda < 18 \mu\text{m}$) *Astronomical Wide Area Infrared Imager*, 2 indica che il detector restituisce un array bidimensionale, R sta per *reference pixels* infine G per *guide window capability*.

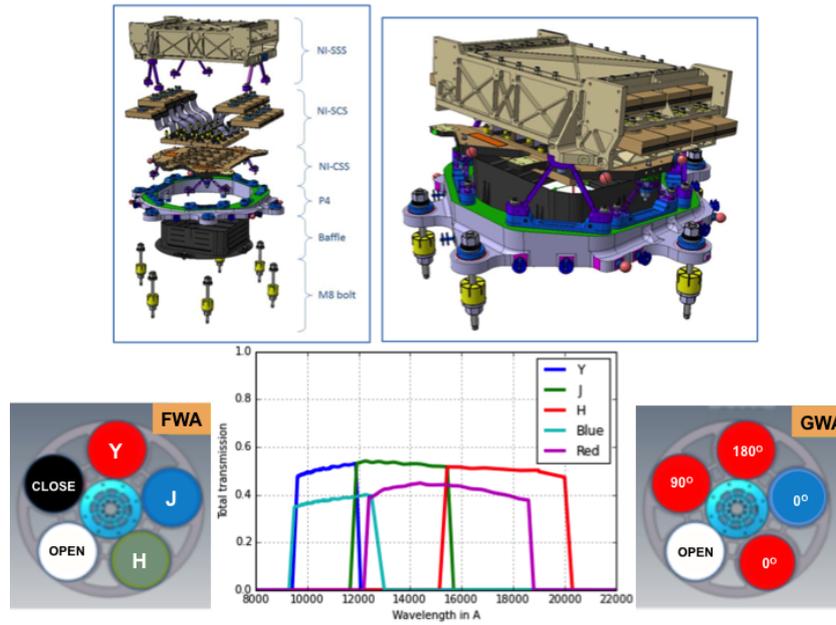


Figura 1.4: NISP, le ruote porta-filtri NI-FWA e NI-GWA e grafico della trasmissione totale in funzione della lunghezza d'onda [3].

l'acquisizione delle immagini e di digitalizzare il segnale, e una *Detector Control Unit* (DCU) che processa le immagini secondo la specifica modalità di acquisizione. Ogni DPU alloggia 8 DCU. NISP ha una telemetria limitata a 250 Gbits/giorno, ne segue che solo una piccola parte di informazioni per pixel può essere trasmessa a terra; eventi singoli, per esempio il passaggio di raggi cosmici, vengono scartati. Il rumore del detector deve essere minimo.

Si utilizza una tecnica per la modalità di acquisizione tale da restituire un'immagine ottenuta sfruttando diversi gruppi di acquisizioni. Questa tecnica prende il nome di *Multiple Accumulated Sampling* (MACC). Si acquisiscono N immagini, ciascuna ottenuta mediando gruppi di M acquisizioni e ogni gruppo viene separato da D immagini che non vengono trasferite. Si esegue un fit lineare sulle N immagini per ciascun pixel trovando così il coefficiente angolare corrispondente al flusso di fotoni incidenti. La SCE acquisisce immagini dalla SCA ogni 1.41 s. Ogni M acquisizioni la DCU esegue una media per ogni pixel ed invia l'immagine mediata alla DPU. La DPU processa i dati tramite fit lineare per ciascun pixel a partire da un gruppo di N immagini e restituisce due matrici di dati: una contenente i coefficienti angolari dei fit e l'altra i corrispondenti valori del chi-quadro.

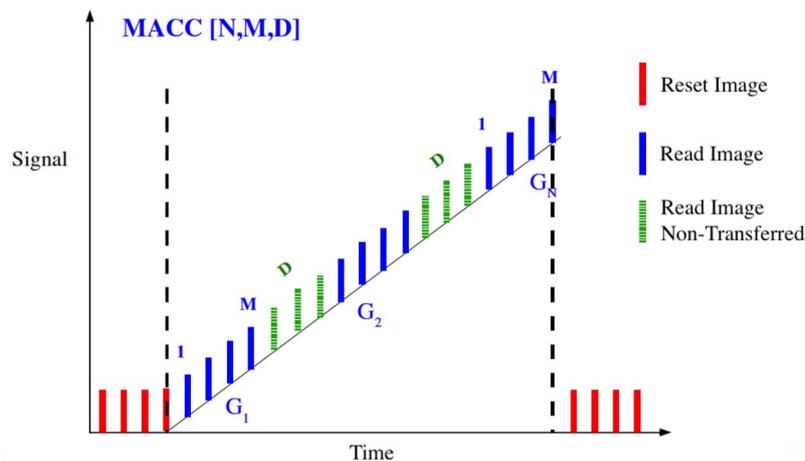


Figura 1.5: Rappresentazione grafica della modalità di acquisizione MACC[N,M,D] [4].

Capitolo 2

Analisi dati

2.1 Presentazione del test

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è verificare che lo strumento esegua la sequenza di operazioni nelle tempistiche definite, assicurando così la riuscita della *survey* ed una corretta funzionalità dello strumento.

I dati analizzati sono relativi al test *Wide Survey Etalon flux 500 F60 shifted + Y & best focus* (-1.5 mm), avviato il 09/02/2020 alle ore 21:54:48 e terminato il 10/02/2020 alle ore 07:44:51, per una durata complessiva di 590 min, ovvero 9 h 50 min. Questo test emula la sequenza di osservazione nominale di Euclid; durante la sua esecuzione sono stati effettuati otto cicli completi. Un ciclo di osservazione completo è composto da quattro *dither*, i primi tre sono formati da un'esposizione spettroscopica e tre esposizioni in modalità fotometrica, l'ultimo *dither* è invece composto da un'esposizione in modalità spettroscopica, tre in fotometrica e l'ultima in modalità *dark* per valutare il segnale di background termico e persistenza dell'immagine. Il ciclo ha una durata totale di 1 h 12 min 11 s = 4331 s (si include il tempo richiesto per la rotazione delle ruote). Le operazioni eseguite da NISP durante un ciclo di esposizione completo sono riassunte nella figura 2.1. Il telescopio punterà su porzioni del cielo acquisendo varie immagini. Si comincia con il movimento di rotazione della ruota porta-filtri FWA tramite il primo comando NISC0801. Dopo circa 20 s, in cui NISP ha avuto modo di stabilizzarsi, inizia l'esposizione spettroscopica con durata di circa 574 s (NISC0314). Al termine di questa prima esposizione, si effettuano le successive tre esposizioni fotometriche per i filtri J, H, Y della durata di circa 2 min ciascuna; prima delle esposizioni fotometriche la GWA viene portata in posizione aperta. Concluso il primo *dither* si ripete il processo per altre tre volte, terminando il ciclo sempre con NISC0801. In totale si ottengono 17 immagini. Infine si ha l'esposizione *dark* (NISC0403) ed il ciclo si conclude.

	t0 (s)	tend (s)	Operation	Duration (s)	FWA/GWA Rotation (Deg)	Comment
Dither #1	0	10	FWA (Closed to Open)	10	+144	
	10	20	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	20	594	RGS270 Exposure start	574		MACC(15;16;11); 594s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	594	610	FWA (Open to J Band)	16	+72	
	610	620	GWA (RGS270 to Open)	10	+144	
	620	630	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	630	741	J band Exposure start	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	741	751	FWA (J Band to H Band)	10	+72	
	751	761	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	761	872	H band Exposure start	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	872	882	FWA (H Band to Y Band)	10	+144	
	882	892	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
Dither #2	892	1003	Y band Exposure start	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	1003	1019	GWA (Open to RGS000)	16	+144	
	1019	1029	FWA (Y to Open)	10	+72	
	1029	1067	NISP wait during dithering	38		S/C dithering
	1067	1641	RGS000 Exposure	574		MACC(15;16;11); 594s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	1641	1657	FWA (Open to J Band)	16	+72	
	1657	1667	GWA (RGS000 to Open)	10	-144	
	1667	1677	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	1677	1788	J band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	1788	1798	FWA (J Band to H Band)	10	+72	
	1798	1808	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	1808	1919	H band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
Dither #3	1919	1929	FWA (H Band to Y Band)	10	+144	
	1929	1939	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	1939	2050	Y band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	2050	2066	GWA (Open to RGS180)	16	+72	
	2066	2076	FWA (Y to Open)	10	+72	
	2076	2114	NISP wait during dithering	38		S/C dithering
	2114	2688	RGS180 Exposure	574		MACC(15;16;11); 594s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	2688	2704	FWA (Open to J Band)	16	+72	
	2704	2714	GWA (RGS180 to Open)	10	-72	
	2714	2724	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	2724	2835	J band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	Dither #4	2835	2845	FWA (J Band to H Band)	10	+72
2845		2855	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
2855		2966	H band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
2966		2976	FWA (H Band to Y Band)	10	+144	
2976		2986	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
2986		3097	Y band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
3097		3113	GWA (Open to RGS270)	16	-144	
3113		3123	FWA (Y to Open)	10	+72	
3123		3161	NISP wait during dithering	38		S/C dithering
3161		3735	RGS270 Exposure	574		MACC(15;16;11); 594s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
3735		3751	FWA (Open to J Band)	16	+72	
3751		3761	GWA (RGS270 to Open)	10	+144	
SLEW	3761	3771	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	3771	3882	J band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	3882	3892	FWA (J Band to H Band)	10	+72	
	3892	3902	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	3902	4013	H band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	4013	4023	FWA (H Band to Y Band)	10	+144	
	4023	4033	NISP wait during attitude stabilisation	10		Attitude Stabilisation
	4033	4144	Y band Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	4144	4152	NISP wait during VIS DARK	8		
	4152	4168	FWA (Y to Close)	16	-72	
TOTAL (s)	4168	4182	GWA (Open to RGS270)	14	-144	
	4182	4293	Dark Exposure	111		MACC(4;16;4); 111s=Exposure time (Rounded; Reset not counted)
	4293	4331	End of slew	38		

Figura 2.1: Sequenza di osservazione nominale del *Wide Survey* test [5].

2.2 Elaborazione dei dati

In questa sezione viene analizzato il consumo di potenza dissipata dallo strumento NISP per le due unità di strumentazione elettronica che compongono la *Warm Electronics*, la ICU e la DPU. Durante questi test l'alimentazione non è con pannelli solari, ma con un'attrezzatura specifica detta SCOE, che ne simula il comportamento; questa attrezzatura simula tutte le funzionalità del *Service Module* e consente di raccogliere i dati prodotti dai software di gestione e analisi dati della ICU e delle due DPU. I dati relativi a tensione e corrente sono generati dall'unità di alimentazione mentre i dati relativi agli stati logici della ICU e delle due DPU sono generati dai software di gestione delle due unità e trasferiti alla SCOE. Si verifica che l'elettronica non venga eccessivamente surriscaldata durante la simulazione e che la potenza dissipata non aumenti oltre a limiti prestabiliti.

2.2.1 Instrument Control Unit (ICU)

La NI-ICU di Euclid gestisce tutte le funzioni NISP e interfaccia lo strumento NISP con il sistema di controllo del SVM. Scambia dati con la DPU utilizzando un'interfaccia dedicata e fornisce l'elettronica di controllo per il NI-FWA, il NI-GWA e il NI-CU. È anche responsabile del monitoraggio dei sensori di temperatura, dell'alimentazione dei riscaldatori e della gestione dell'intera telemetria del NI-WE.

Per l'unità ICU sono stati analizzati i valori della corrente assorbita (A), della tensione di alimentazione (V) e della relativa potenza dissipata (W), calcolata come prodotto della tensione per la corrente $P=VI$ ad un preciso valore del tempo (s). Durante il test lo stato logico della ICU è OBSERVATION.

In figura 2.2 si riportano i grafici della corrente e della tensione in funzione del tempo per l'unità ICU. Nei grafici si riscontrano strutture cicliche in ragione del fatto che il test è composto da una sequenza di operazioni ripetitive. Quando vengono girate le ruote porta-filtri si ha un assorbimento di corrente riscontrato nei vari picchi mostrati in grafico. Per contro la tensione diminuisce poichè l'alimentatore lavora a potenza fissata.

Dopo aver trovato corrispondenza nei tempi per i vari valori di corrente e tensione, si è calcolata la potenza dissipata in funzione del tempo. Si vedano i grafici in figura 2.3. Nel primo grafico a sinistra si possono individuare picchi ordinati in 32 strutture cicliche. Questi picchi associati a incrementi della potenza dissipata sono causati dalla rotazione delle ruote. Nel grafico adiacente è invece mostrato nel dettaglio un *dither* della ICU. Si osserva un primo picco dovuto all'iniziale movimento della FWA che passa dallo stato di *closed* a quello di *open* ($\sim 32 W$) seguito da un valore di potenza all'incirca costante, attorno ai 24 V. Questo è il valore della ICU quando non è in corso un movimento delle ruote porta-filtri. A seguire si notano quattro picchi ($\sim 34 W$), il primo costituito a sua volta da due picchi minori dovuti al fatto che anche la GWA è in funzione e la FWA si trova su J (due rotazioni di due ruote), dopo circa due minuti si ha rotazione su H, a seguire su Y e infine si ritrovano nuovamente due picchi minori sempre dovuti alle due ruote porta-filtri. Finito questo primo *dither*, ricomincia la sequenza con il *dither* successivo.

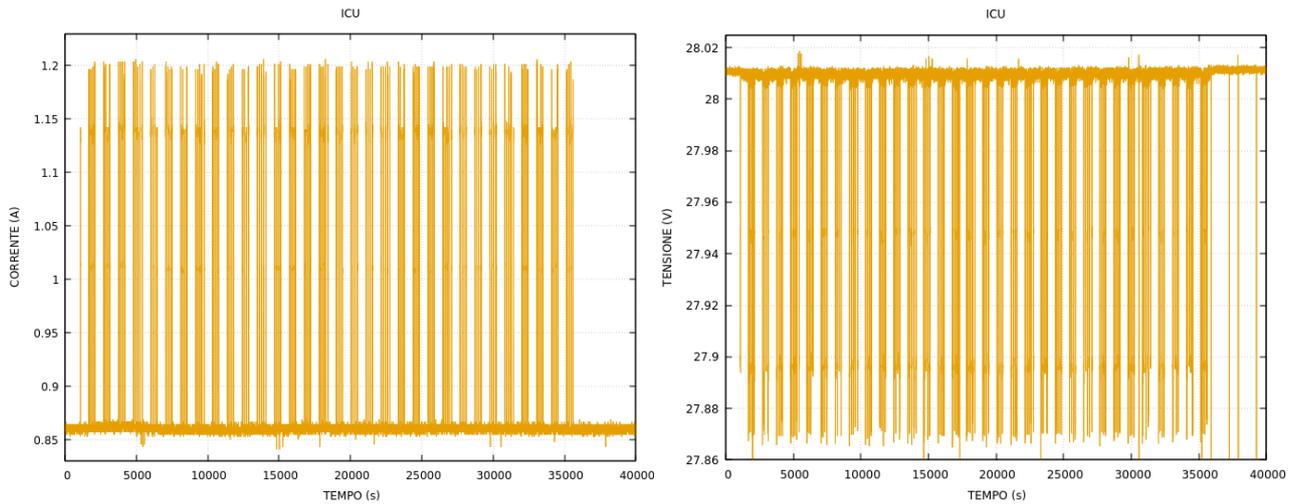


Figura 2.2: Corrente (a sinistra) e tensione (a destra) in funzione del tempo per la ICU.

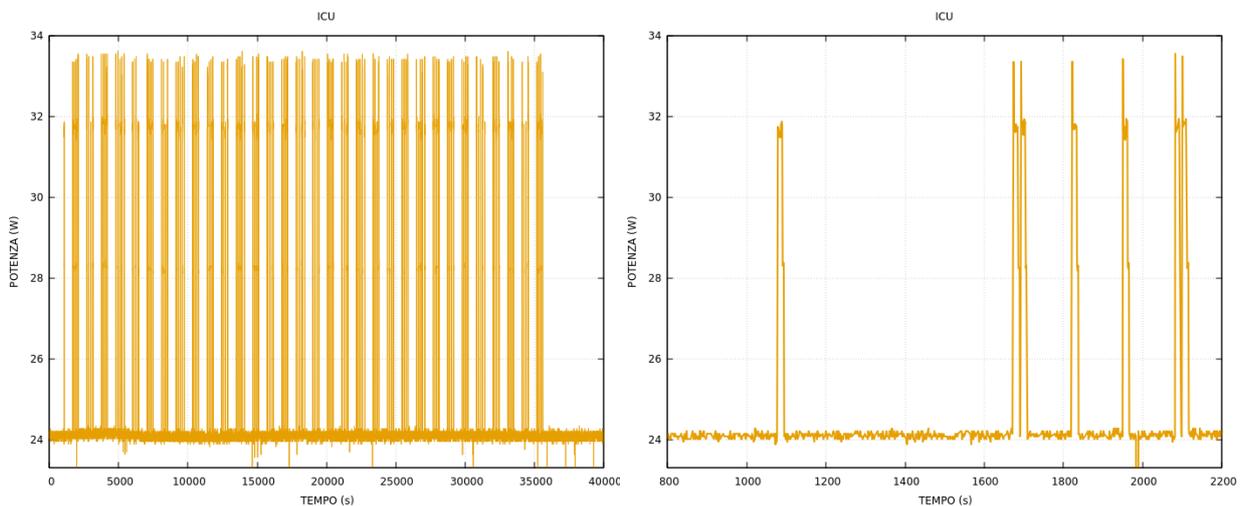


Figura 2.3: Potenza in funzione del tempo per la ICU (a sinistra) e primo *dither*.

2.2.2 Data Processing Unit (DPU)

Ognuna delle due NI-DPU implementa il controllo dei rilevatori a infrarossi, l'acquisizione dei dati e la funzionalità dell'elaborazione dei medesimi. Ci sono due unità identiche, la DPU1 e la DPU2. Ciascuna gestisce metà del piano focale.

Sia per la DPU1 sia per la DPU2 si è proceduto in modo analogo alla ICU. Si riportano nei grafici a seguire le correnti, tensioni e potenze per le DPU1 e DPU2 negli stati logici OBSERVATION. Si constata comportamenti simili a quelli della ICU. Si hanno picchi nella potenza sui ~ 62 W per la DPU1 e sui ~ 61 W per la DPU2. La DPU esegue molte più operazioni rispetto alla ICU, comanda l'elettronica, esegue fit lineari e processa i dati assorbendo maggiore corrente rispetto la ICU. Questo spiega gli andamenti ciclici con più strutture sovrapposte che si riscontrano nei grafici. La DPU può eseguire più operazioni allo stesso tempo, mentre acquisisce nuovi dati processa i precedenti e li trasmette al simulatore di *Mass Memory Unit* (MMU) presente sullo SCOE.

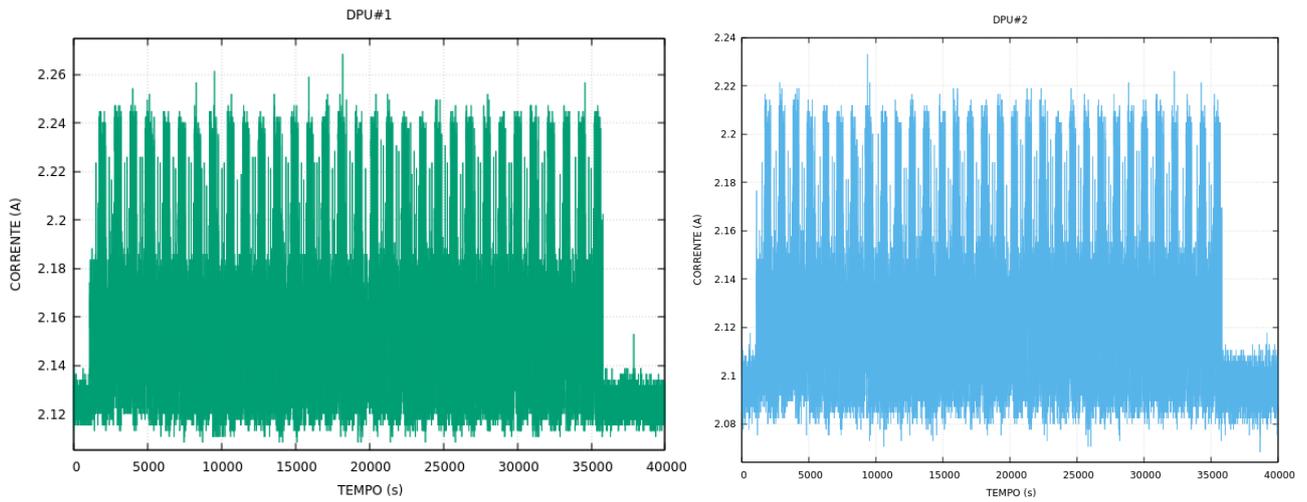


Figura 2.4: Corrente in funzione del tempo per la DPU1 e DPU2.

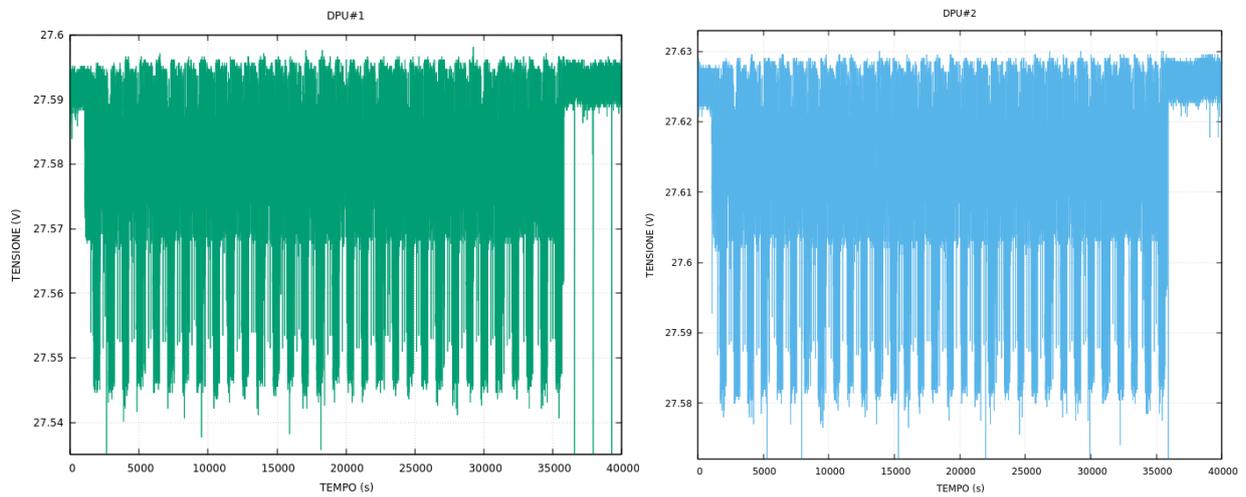


Figura 2.5: Tensione in funzione del tempo per la DPU1 e DPU2.

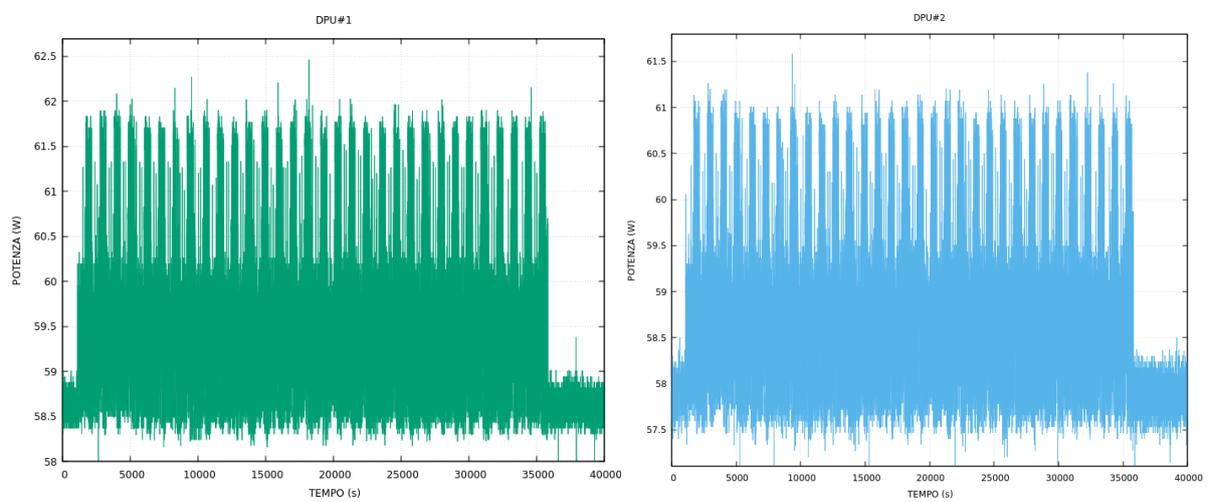


Figura 2.6: Potenza in funzione del tempo per la DPU1 e DPU2.

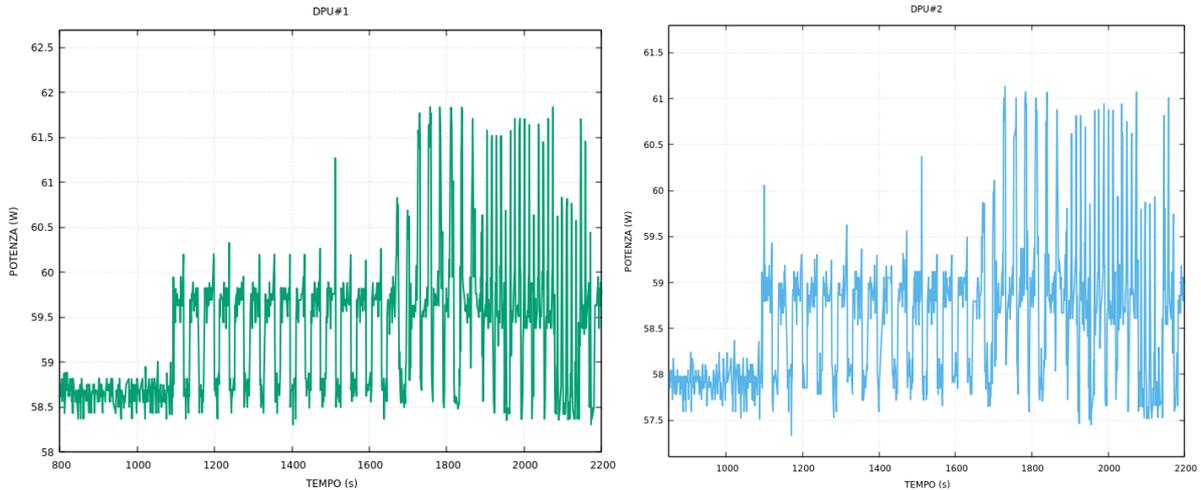


Figura 2.7: Primo *dither* per DPU1 e DPU2.

Si procede esaminando la potenza assorbita in corrispondenza dei diversi stati logici delle DPU: WAITING indica che l'esposizione è in corso, ma non c'è processamento dati, PROCESSING indica che è in corso il processamento dei dati, MMU_TRX_ON/no_MMU_TRX rivela se la trasmissione dati verso lo SCOE è in corso o meno. Si riporta nell'immagine sottostante un grafico in cui sull'asse delle ascisse sono indicati i tempi in cui sono avvenute determinate operazioni del test, mentre sull'asse delle ordinate sono indicati gli stati logici presi in considerazione, OBS_WAITING, OBS_PROCESSING, EE³_IDLE, EE³_EXPOSING, no_MMU_trx, MMU_trx_ON. Lo stato logico EE³_IDLE denota che l'acquisizione dati dal piano focale non è in corso, lo stato logico EE³_EXPOSING che l'esposizione è in corso.

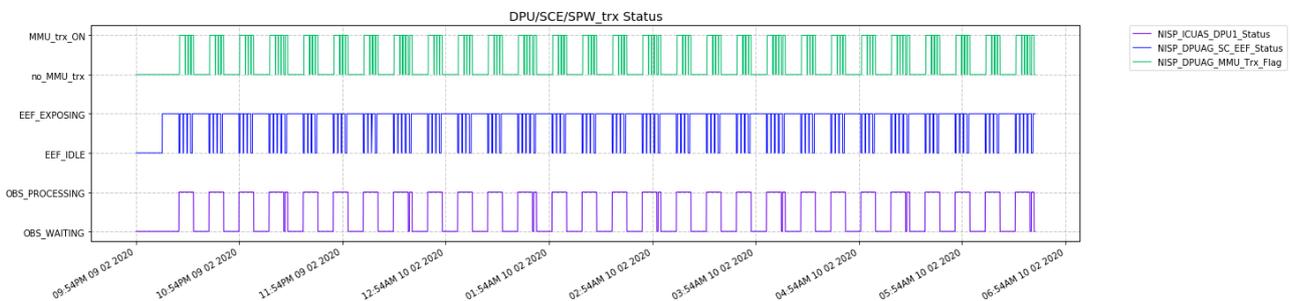


Figura 2.8: Stati e trasmissioni SpaceWire per la DPU ASW (*Application Software*)/SCE in 7 cicli nominali [5].

Per ciascuno di questi stati si sono effettuati degli istogrammi in cui vengono raggruppati valori della potenza dissipata e viene data una stima del valor medio nei vari processi considerati. Per lo stato di WAITING (figura 2.9) si è considerato il valore medio di un unico picco con errore dato dallo scarto quadratico medio. In figura 2.10 vengono invece rappresentati istogrammi riferiti allo stato del PROCESSING. Si possono notare tre picchi principali, per ciascuno si è considerato il valor medio con relativo scarto quadratico medio. Seguono istogrammi per gli stati EE³_IDLE ed EE³_EXPOSING (figura 2.12 e 2.13). Infine si raffigurano no_MMU_trx e MMU_trx_ON (figura 2.15 e 2.16). Terminando l'analisi si sono realizzati quattro *scatter plot* per gli stati di PROCESSING e EXPOSING (figure 2.11 e 2.14), concentrandosi sul primo ciclo in modo che l'andamento risultasse evidente e compatibile con i tempi definiti.

³EEF è acronimo di *Electrical Engineering Firmware*.

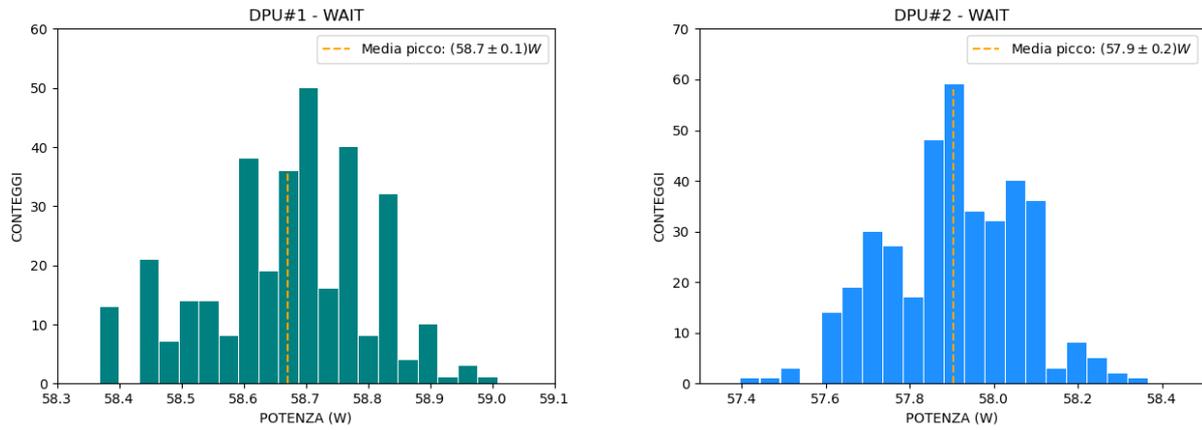


Figura 2.9: OBS_WAITING per la DPU1 e DPU2.

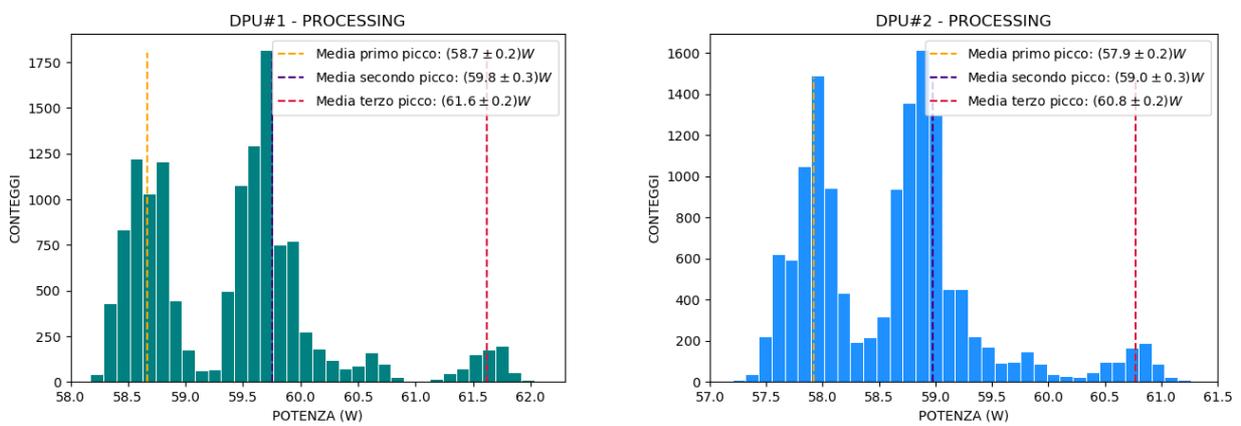


Figura 2.10: OBS_PROCESSING per la DPU1 e DPU2.

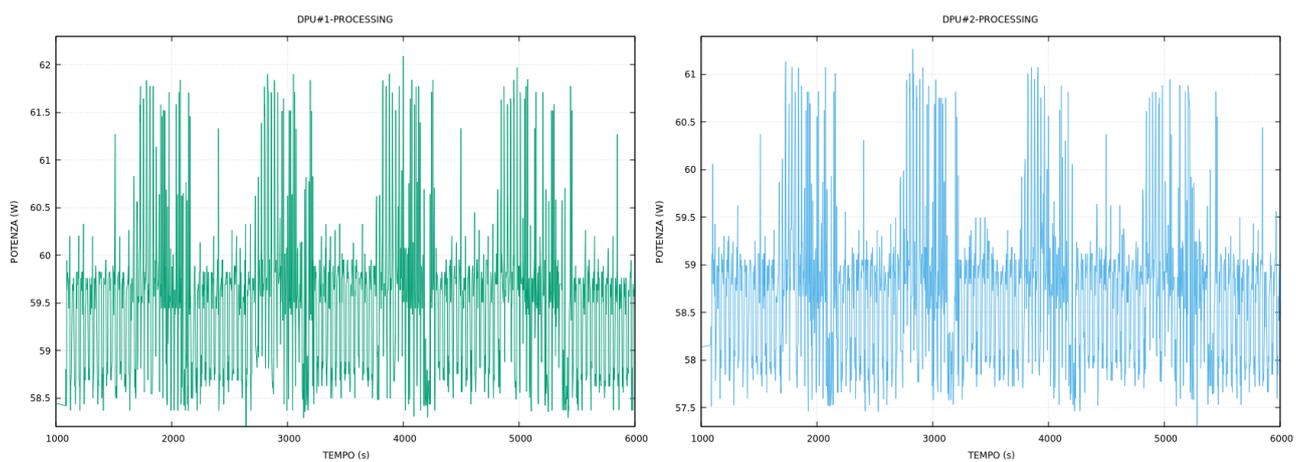


Figura 2.11: Potenza in funzione del tempo per gli stati di OBS_PROCESSING per la DPU1 e DPU2.

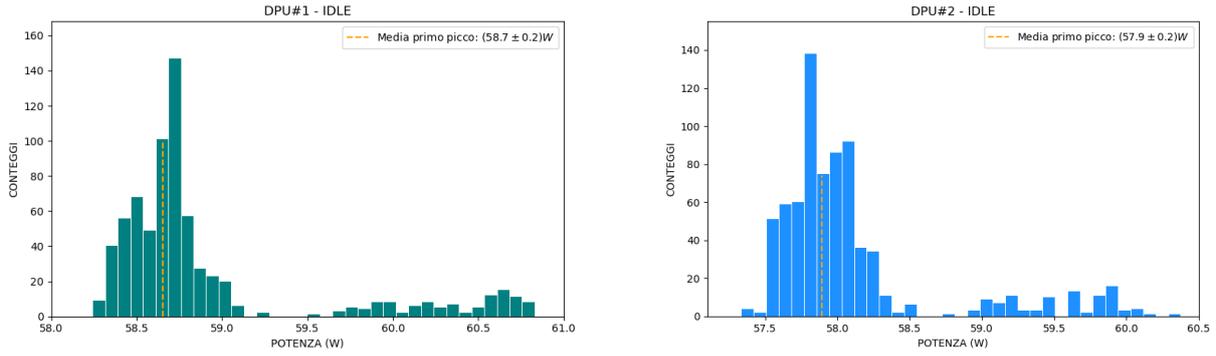


Figura 2.12: EEF_IDLE per la DPU1 e DPU2.

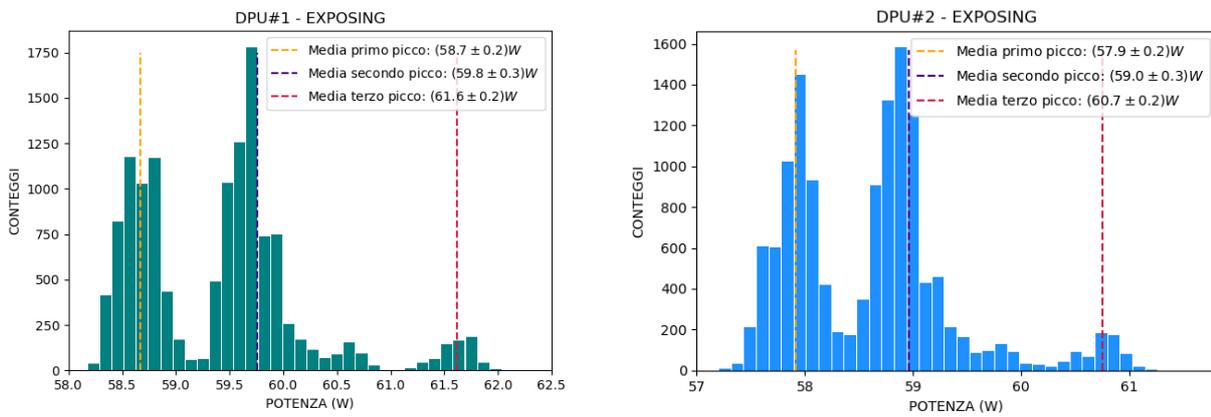


Figura 2.13: EEF_EXPOSING per la DPU1 e DPU2.

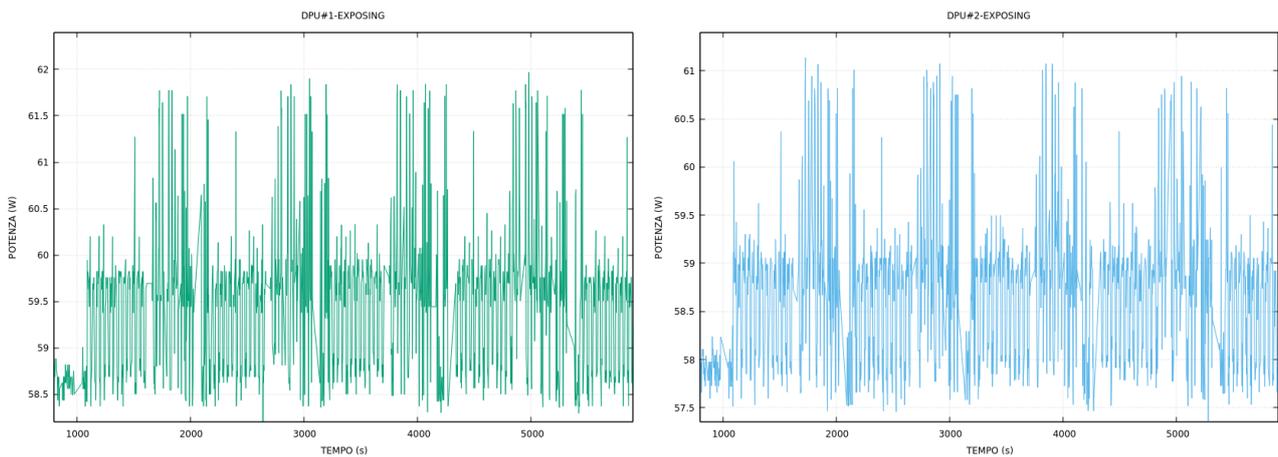


Figura 2.14: Potenza in funzione del tempo per gli stati di EEF_EXPOSING per la DPU1 e DPU2.

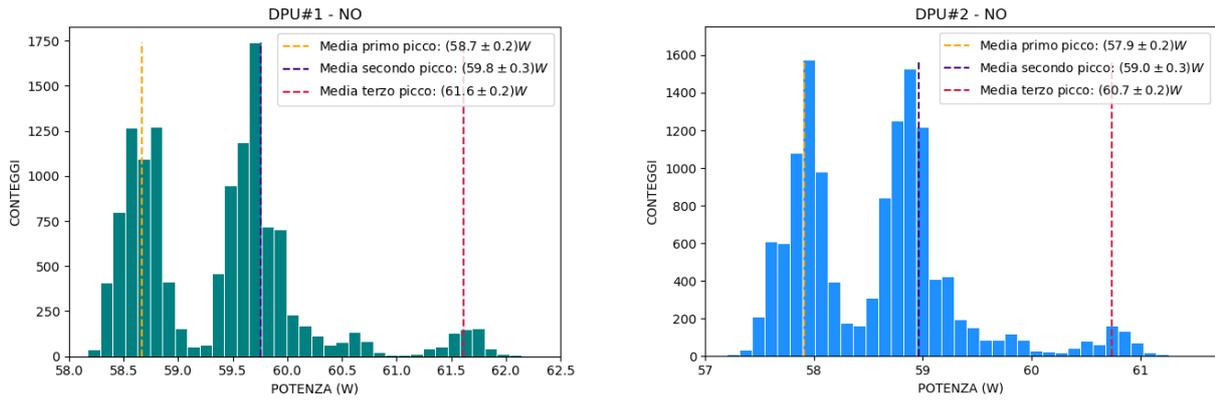


Figura 2.15: no_MMU_trx per la DPU1 e DPU2.

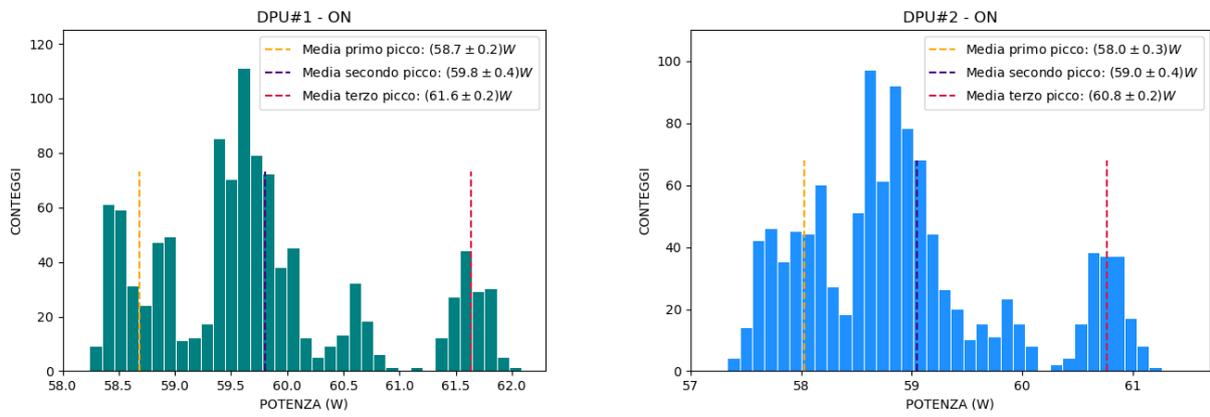


Figura 2.16: MMU_trx_ON per la DPU1 e DPU2.

2.3 Conclusioni

In questo lavoro di tesi abbiamo verificato il corretto funzionamento delle unità della ICU e della DPU di NISP per quanto concerne la corrente assorbita, la tensione di alimentazione e la potenza dissipata. Gli andamenti periodici sono infatti spiegabili tramite i vari meccanismi di ruote dello strumento e le differenti operazioni eseguite per acquisire e ridurre i dati. Riscontriamo quindi compatibilità con le tempistiche delle varie operazioni attese. Siamo inoltre riusciti a dare una stima dei valori medi della potenza dissipata per sei stati logici. Tali valori si riportano nella tabella riassuntiva sottostante.

STATO LOGICO	Potenza DPU1 (W)	Potenza DPU2 (W)
OBS_WAITING	58.7 ± 0.1	57.9 ± 0.2
OBS_PROCESSING		
- Processing	58.7 ± 0.2	57.9 ± 0.2
- Processing + Exposing	59.8 ± 0.3	59.0 ± 0.3
- Processing + Exposing	61.6 ± 0.2	60.8 ± 0.2
EEF_IDLE	58.7 ± 0.2	57.9 ± 0.2
EEF_EXPOSING		
- Exposing	58.7 ± 0.2	57.9 ± 0.2
- Exposing + Processing	59.8 ± 0.3	59.0 ± 0.3
- Exposing + Processing	61.6 ± 0.2	60.7 ± 0.2
no_MMU_trx		
- Transmission	58.7 ± 0.2	57.9 ± 0.2
- Transmission + Processing + Exposing	59.8 ± 0.3	59.0 ± 0.3
- Transmission + Processing + Exposing	61.6 ± 0.2	60.7 ± 0.2
MMU_trx_ON		
- Transmission	58.7 ± 0.2	58.0 ± 0.3
- Transmission + Processing + Exposing	59.8 ± 0.4	59.0 ± 0.4
- Transmission + Processing + Exposing	61.6 ± 0.2	60.8 ± 0.2

Tabella 2.1: Valori medi della potenza con relativo scarto quadratico medio per i picchi considerati nei diversi stati logici.

Bibliografia

- [1] <https://www.euclid-ec.org/>
- [2] G. D. Racca et al., *The Euclid Mission Design*, SPIE Proceedings Vol. 9904, Luglio 2016
- [3] https://www.euclid-ec.org/?page_id=2490
- [4] F. Fornari, *Software Development and Detector Characterization of the EUCLID Near-Infrared Spectro-Photometer*, tesi di dottorato, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, XXX Ciclo, Aprile 2018
- [5] NISP Instrument Team, EUCL-LAM-TR-7-070_NISP_TV3_Test_report, Ottobre 2020
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Hubble%27s_law
- [7] F. Laudisio, *Verification and integration of the management and control software for the Near Infrared Spectrometer Photometer of the Euclid space mission*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Padova, XXXI Ciclo, Novembre 2018