

ANALISI SISTEMI DI ALIMENTAZIONE (EPS)

PROGETTO SSL

MARZO 2006

1 Introduzione

Questo documento è una sezione del rapporto di lavoro realizzato durante lo stage che ho svolto nel periodo 2005-2006 grazie alla borsa di studio Chaudoire concessami dalla SUPSI. Il rapporto è rintracciabile presso gli archivi del laboratorio SSL.

Nelle sezioni seguenti presento i risultati della ricerca sulle soluzioni adottate da altri progetti universitari nel campo pico-satelliti per il sistema EPS¹. Questa ricerca servirà a valutare meglio la scelta sulla tipologia di prodotti da utilizzare per le celle solari e le batterie.

2 Cal Poly State University (USA), CP1

Le informazioni riportate nelle tabelle 1, 2, 3 e 4 sono prese dal documento [2].

Tabella 1: Specifiche pannelli solari CP1

Type/Technology	Dual Junction GaAs
Manufacturer	Spectrolab
Quantity	2
Nominal voltage (tot) V	4.2
Efficiency %	>19

In questo progetto sono state confrontate varie tipologie di batterie.

Tabella 2: Confronto caratteristiche chimiche ed elettriche fra alcune tipologie di batterie

Modello	NiCd	NiMH	LiIon	LiMetal
Nominal Voltage V	1.2	1.25	3.6	3.0
Gravimetric Energy Density Wh/Kg	45	55	100+	140+
Volumetric Energy Density Wh/l	150	180	225+	300+
Self-Discharge Rate %month	25	20 ↔ 25	8	1 ↔ 2
Temperature Range °C	0 ↔ 50	-10 ↔ 50	-10 ↔ 50	-30 ↔ 55

La scelta è caduta sulle batterie al litio per la loro altissima densità di energia volumetrica e gravimetrica². Sono state previsti due modelli di batterie: una secondaria a ioni di litio che viene ricaricata dai pannelli solari ed una primaria di sicurezza. Quest'ultima entra in funzione solo in caso di difetti ai pannelli solari che non sono più in grado di caricare la batteria secondaria. La batteria ha la forma di una normale

¹Energy Power System

²Tradotto liberamente dalla frase “*extremely high volumetric and gravimetric energy densities*”

batteria tipo "C"³ ed ha una capacità molto più grande rispetto alla secondaria in modo da permettere il funzionamento del sistema in modalità *low-power* per diverse settimane. Le tabelle 3 e 4 riportano alcune caratteristiche di queste batterie.

Tabella 3: Specifiche batteria secondaria CP1

Type/Technology	PSC340848 Lithium Ion	
Manufacturer	Polystor	
Dimension (W,T,H)	mm	8.5 × 34.2 × 48.0
Capacity	Ah	1.2
Nominal Voltage	V	3.6
Weight	g	38

Tabella 4: Specifiche batteria primaria CP1

Type/Technology	Lithium-Metal	
Manufacturer	Electrochem	
Size	Type "C"	
Capacity	Ah	7.0

3 University of Texas (USA), CanSat

Le informazioni riportate in questa sezione sono state prese dal sito:

http://www.ae.utexas.edu/courses/ase463q/design_pages/spring03/cubesat/web/table%20of%20contents.htm

In questo progetto sono stati analizzati vari prodotti di società differenti. La tabella 5 mostra i dati di alcuni modelli di celle solari.

Anche per le batterie è stata fatta una raccolta di informazioni per diverse tipologie. La tabella 6 mostra questi dati.

Analizzando le varie caratteristiche sono state proposte 3 soluzioni possibili, dalla prima più conveniente all'ultima più costosa. La tabella 7 riporta i 3 livelli di soluzione.

³Forma cilindrica: 26.2 mm diametro, 50 mm altezza

Tabella 5: Specifiche di alcuni modelli di celle solari

	Spectrolab	EmCore		Silicon Solar
Technology	Dual Junction	Dual Junction	Triple Junction	Single Junction
Supply Voltage V	2.05	2.08	2.57	0.51
Supply Current mA	230 ↔ 286	427.50	427.50	3500 1300 250 75
Power mW	471 ↔ 586	889.20	1096.54	1785 663 127.5 38.25
Energy Conversion Efficiency %	16.1 ↔ >20	23.2	28.6	12.4
Size cm	3.12 × 6.91	3.72 × 7.61	3.72 × 7.61	10.3 × 10.3 6.25 × 6.25 1.7 × 6.25 2.6 × 1.7
Thickness (Microns)	140	155	155	-
Weight g	-	2.4	2.4	-
Cost per Cell \$	5.40 ↔ 12.60 Min. Ord. 50	260.00	260.00	6.00 3.00 1.50 1.00

Tabella 6: Specifiche di alcuni modelli di batterie ricaricabili. Produttori: *Matsushita Battery e Ultralife*

	Nickel Metal Hydridel		Lithium Ion		Lithium Polymer
	Cylindrical	Prismatic	Cylindrical	Prismatic	Prismatic
Energy Density (mWh/g)	64	60	147	142	152
Charge Cycles	1000	1000	500	500	300
Difficulty of Charge	Easy		Difficult, due to safety concerns		
Susceptible to Over Charge	No	No	Yes	Yes	Yes
Temperature Range (°C)	0 ↔ 45	0 ↔ 45	-10 ↔ 45	-10 ↔ 45	-20 ↔ 60
Cost per Cell (\$)	5	8	30	30	99

Tabella 7: Combinazioni possibili per CanSat

		Option 1	Option 2	Option 3
Celle Solari:	Type	Spectrolab	Spectrolab	Spectrolab
	Efficiency	17.00	18.00	20.00
	Cell Coverage	388.00	388.00	388.00
	Energy	2.07	2.19	2.43
Batteria:	Part Number	HHR120AA	SLPB523462	
	Voltage	3.6	3.7	
	Capacity	1.15	1.02	
	Energy	4.14	3.774	
	Charge Current	1200	980	
	Charge Time	70	70	
	Weight	69.0	20.50	
	Volume	21.3	11.58	
	Chemistry	NiMH	Li Poly	
	Configuration	3 Cells in series	Single Cell	

4 University of Stanford (USA), KatySat

Le informazioni riportate nelle tabelle 8 e 9 sono prese dalla pagina web

<http://www.katysat.org>.

Tabella 8: Specifiche pannelli solari KatySat

Manufacturer	Spectrolab
Efficiency %	28
Descrizione	Ognuno delle 6 facce del cubo è ricoperto da pannelli solari. Ogni pannello è composto da 2 celle in serie

Tabella 9: Specifiche batterie KatySat

Type/Technology	Dual pack lithium-ion
Manufacturer	Panasonic
Thermal charge environment °C	0 ↔ 45

5 University of Stanford (USA), QuakeSat

Le informazioni riportate nelle tabelle 10 e 11 sono prese dal documento [4]. Questo progetto è una variazione sul tema Cubesat. Infatti come mostra la figura 1 il modulo è più grande di un CubeSat standard.

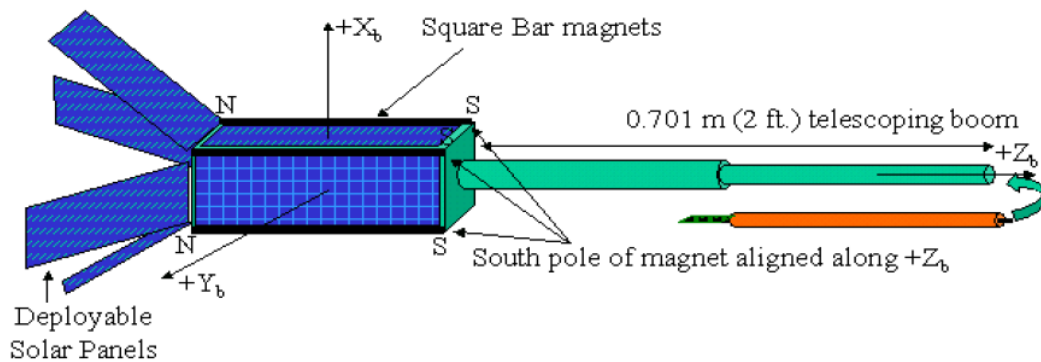


Figura 1: QuakeSat

Tabella 10: Specifiche pannelli solari QuakeSat

Type/Technology	Multi-junction GaAs
Quantity	12
Dimension (W,T) mm	330 × 86
Efficiency %	22.9

Tabella 11: Specifiche batterie QuakeSat

Type/Technology	Lithium+ Ion
Quantity	4

6 University of Washington (USA)

Le informazioni riportate nelle tabelle 12 e 13 son prese dal documento [5].

Tabella 12: Specifiche pannelli solari Cubesat Washington

Type/Technology	Triple-junction
Manufacturer	Tecstar
Efficiency %	26.5

Tabella 13: Specifiche batterie Cubesat Washington

Type/Technology	Lithium polymer
-----------------	-----------------

7 University of Kansas (USA), KuteSat

Le informazioni riportate nelle tabelle 14 e 15 sono prese da una presentazione del progetto KuteSat consultabile sul sito

<http://www.engr.ku.edu/ae/kutesat.htm>.

Tabella 14: Specifiche pannelli solari KuteSat

Type/Technology	Rectangular Dual Junction GaAs/Ge
Manufacturer	Spectrolab
Output Voltage V	2.05
Output Current mA	260
Efficiency %	21.5
Dimensions mm	69×32×2
Weight g	<2
Quantity	2 on side A, D; 3 on side B, C; 1 on side E

Tabella 15: Specifiche batterie KuteSat

Type/Technology	Li-Ion
Model	VC497165
Manufacturer	Valence Technology Inc.
Operating Voltage V	3.7
Capacity mAh	1860
Dimensions mm	71×65×4.9
Weight g	42
Operating Temperature °C	-20 ↔ 60
Charging Temperature °C	>0
Quantity	2

8 University of Toronto (Canada), CanX-1

Le informazioni riportate nelle tabelle 16 e 17 sono prese dal documento [3].

Tabella 16: Specifiche pannelli solari CanX-1

Type/Technology	Triple-junction gallium arsenide
Quantity	6, parallel connected
Minimum efficiency %	18
Output voltage V	4.4 ↔ 5.0
Power (worst case) ^a W	1.63 (everyone)

^aCaso peggiore che si otterrebbe nelle seguenti condizioni:

- operating Temperature of 80°C
- end-of-life efficiency of 25%
- on-orbit sun radiative power flux of 1367 W/m²

Tabella 17: Specifiche batterie CanX-1

Type/Technologies	Lithium-Ion
Manufacturer of battery	Polystor
Manufacturer of battery pack	Nexergy Inc.
Quantity	3, parallel connected
Nominal capacity (total) mAh	3600
Nominal Voltage V	3.7
Charge Temperatur Range °C	0 ↔ 40
Discharge Temperatur Range °C	-20 ↔ 60
Weight (total) g	114

9 University of Aalborg (Danimarca), AAU Cubesat

Le informazioni riportate nelle tabelle 18 e 19 sono prese dalla pagina web

<http://cubesat.auc.dk/>.

Tabella 18: Specifiche pannelli solari AAU Cubesat

Type/Technology		Triple junction GaAs
Manufacturer		EMCORE
Efficiency	%	28
Maximum power point of	V	4.2

Tabella 19: Specifiche batterie AAU Cubesat

Type/Technology		Lithium-Ion polymer
Quantity		4
Capacity (each)	mAh	940

10 Università di Torino (Italia), PICpot

Le informazioni riportate nelle tabelle 20 e 21 sono prese dalla pagina web

<http://polimage.polito.it/picpot/>

Tabella 20: Specifiche pannelli solari PICpot

Type/Technology		Polycrystalline Silicon
Output Voltage	V	0.54
Output Current	mA	700
Proce	\$	2.50

Sono state utilizzate due tipi di batteria

Tabella 21: Specifiche batterie PICpot

Type/Technology		Ni-Cd	Lithium Polymer
Manufacturer		Sanyo	Ultralife
Voltage (each/tot)	V	1.2/7.2	3.6/7.2
Capacity (each/tot)	mAh	850/850	1600/1600
Dimension	mm	-	86×51×4.7
Quantity		2 battery packages, each package 6 cells in series	4 battery packages, each package 2 cells in series

11 Tokio Institute of Technology (Japan)

11.1 CUTE-I

Le informazioni riportate nelle tabelle 22 e 23 sono prese dal documento [1].

Tabella 22: Specifiche pannelli solari CUTE-I

Type/Technology		Silicon
Manufacturer		SHARP
Cell Size (W,T,H)	mm	$27 \times 24 \times 0.1$
Voc	mV	6180
Isc	mA	321
IL(5.0 V)	mA	304
IL(4.5 V)	mA	313
P(4.5 V)	W	1.4085
Temp. (operation)	°C	$-150 \leftrightarrow 140$
Efficiency	%	16.9

Tabella 23: Specifiche batteria CUTE-I

Type/Technology		Li-Ion
Manufacturer		NEC
Nominal Capacity	mAh	1040
Nominal Voltage	V	3.8
Charging Voltage	V	4.2 ∓ 0.05
Cathode Materials		Mn
Anode Materials		Graphite
Dimension (W,T,H)	mm	$33.8 \times 6.5 \times 66.6$
Cycle Life	Cycles	500
Operating Temp Range Charge	°C	$0 \leftrightarrow 45$
Operating Temp Range Discharge	°C	$-20 \leftrightarrow 60$
Weight	g	32

11.2 CUTE-1.7+APD

Questo modulo è il successore del CUTE-I ed ha dimensioni raddoppiate ($20 \times 10 \times 10$).

La sigla **APD** sta per *Avalanche Photo Diode*.

Le informazioni riportate nelle tabelle 24 e 25 sono prese dalla pagine internet

http://lss.mes.titech.ac.jp/ssp/cute1.7/index_e.html

Tabella 24: Specifiche pannelli solari CUTE-1.7+APD

Type/Technology		GaAs
Manufacturer		Emcor
Cell Size	mm	38.4 × 63.2
Voltage	mV	2120±1.0
Current	mA	363
Efficiency	%	23.2

Tabella 25: Specifiche batteria CUTE-1.7+APD

Type/Technology		Li-Ion
Manufacturer		NEC-TOKIN
Nominal Capacity (each)	mAh	1120
Nominal Voltage	V	3.8
Dimension	mm	33.6 × 8.7 × 47.0
Weight	g	39.0
Quantity		4 parallel connected

12 National Space Program Office (Taiwan), YamSat

Anche se non si tratta di una università ma di un progetto promosso dal governo di Taiwan ho ritenuto opportuno riportare anche questi dati. Il progetto YamSat prevedeva lo sviluppo di 3 Cubesat 1A, 1B e 1C ognuno con una diversa missione da compiere.

Le informazioni riportate nelle tabelle 26 e 27 son prese dal documento [6].

Tabella 26: Specifiche pannelli solari YamSat

Type/Technology	1 Silicon + 5 GaAs
Manufacturer	Shih-Lin & engineering Corp.
Efficiency (tot) %	13

Tabella 27: Specifiche batterie YamSat

Type/Technology	Lithium
Model	E-ONE ICR18500A

13 Conclusioni

Riassumendo posso quindi constatare che sia per i pannelli solari che per le batterie vengono quasi sempre utilizzate le stesse tecnologie. Per la maggioranza dei pannelli solari infatti viene utilizzata la tecnologia “*Multi-junction GaAs*” mentre per quanto riguarda le batterie viene utilizzata la tecnologia a ioni di litio.

Sarebbe stato interessante avere informazioni su eventuali problemi di questi componenti, ma sui documenti da me consultati non è stato riportato nessun tipo di problematica né durante il corso della missione, né durante i test. Magari non ci sono stati problemi oppure hanno volutamente omesso l'argomento (molto più probabile). La tabella 28 riporta una statistica dei progetti analizzati:

Tabella 28: Statistica progetti analizzati

	Tecnologia	N° progetti	%	Commenti
Batteria	Li_Ion	12	100	
	Lithium-Metal	1	-	Batteria di emergenza per progetto CP1
	NiMH	1	-	Scelta alternativa a quella a ioni di litio nel progetto AAU CubeSat
	NiCd	1	-	Batteria aggiuntiva per progetto PICpot
Celle solari	Silicon	2	16.7	
	GaAs	10	83.3	

Riferimenti bibliografici

- [1] *Tokyo Tech CubeSat: CUTE-I - Design & Development of Flight Model and Future Plan* -,
Koji Nakaya, Kazuya Konoue, Hirotaka Sawada, Kyoichi Ui, Hideto Okada, Naoki Miyashita, Masafumi Iai, Tomoyuki Urabe, Nobumasa Yamaguchi, Munetaka Kashiwa, Kuniyuki Omagari, Ikutaro Morita and Saburo Matunaga,
Laboratory for Space Systems, Tokyo Institute of Technology.
- [2] *The Electronic System Design, Analysis, Integration, and Construction of the Cal Poly State University CP1 CubeSat*,
Jake A. Schaffner Electrical Engineering Departement Project Manager, Advisor:
Dr. J. Puig-Suari Aerospace Engineering Dept,
California Polytechnic State University.
- [3] *Canada's Smallest Satellite: The Canadian Advanced Nanospace eXperiment (CanX-1)*,
G. James Wells, Luke Stras, Tiger Jeans, Advisors: Dr. R. E. Zee Manager Space Flight Laboratory, F. M. Prannajaya CanX Program Manager, D. G. Foisy SFL Computer Engeneer,
Space Flight Laboratory, University of Toronto Institute for Aerospace Studies.
- [4] *A cubesat derived design for a unique academic research mission in earthquake signature detection*,
Matthew Long, Allen Lorenz, Greg Rodgers, Eric Tapio, Glenn Tran, Keoki Jackson, Robert Twiggs,

Aeronautics & Astronautics, Stanford University, T. Bleier Stellar Solutions,
SSC02-IX-6.

- [5] *CubeSat Design for LEO-Based Earth Science Missions*,
Stephen Waydo, Daniel Henry, Mark Campbell,
University of Washington, Department of Aeronautics & Astronautics.
- [6] *Lessons Learned of NSPO's Picosatellite Mission: YamSat - 1A, 1B & 1C*,
Chen-Joe Fong, Albert Lin, Allen Shie, Marco Yeh, Wen-Chen Chiou, Ming-Hsien
Tsai, Pei-Yi Ho, Chin-Wen Liu, Ming-Shong Chang, Hsu-Pan Pan, Steven Tsai,
Chiuder Hsiano,
National Space Program Office, Taiwan, R.O.C..