



Università degli Studi di Trieste  
Facoltà di Ingegneria  
C.d.L. Triennale in Ingegneria Elettronica curr. Telecomunicazioni

# Progettazione del sistema di alimentazione per il satellite Atmocube



**Laureando:**

*Bruno Pendalo*

**Relatore:**

*Chiar.mo Prof. Sergio Carrato*

**Co-Relatore:**

*Chiar.mo Prof. Mario Fragiaco*

*Anno Accademico 2007-2008*



*Forse oggi l'obiettivo principale non è di scoprire che cosa siamo, ma piuttosto di rifiutare quello che siamo. Dobbiamo immaginare e costruire ciò che potremmo diventare"*

*(M. Foucault)*



*Indice:*

	PAG.
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>8</b>
<b>1. ARCHITETTURA ATMOCUBE</b>	<b>11</b>
1.1. Caratteristiche Meccaniche	11
1.2. Atmocube	12
1.3. Strumenti di Misura	13
1.3.1. Magnetometro	13
1.3.2. Spettrofotometro	14
1.3.3. GPS	15
1.4. Sistema di Comunicazione	14
1.4.1. RICETRASMITTITORE A BASSA POTENZA	14
1.4.2. LNA	14
1.4.3. Amplificatore Di Potenza	15
1.5. Controllo e Gestione	15
1.5.1. Microprocessore	15
1.6. Celle Solari	17
1.7. Batteria	18
<b>2. NUOVE SPECIFICHE</b>	<b>19</b>
2.1. Richieste ESA	19
2.2. Cambiamenti in Atmocube	23

	PAG.
<b>3. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE</b>	<b>24</b>
3.1. Considerazioni Generali	24
3.2. Architettura sistema Alimentazione	24
3.3. Sorgente energetica	26
3.4. Bilancio energetico	27
3.5. I sotto-sistemi di Atmocube	28
3.6. Condensatori	29
3.7. Alimentazione sezione a 5V	30
3.8. Alimentazione sezione a 5V alta potenza	37
3.9. Alimentazione sezione a 3,3V	38
3.10. Alimentazione sezione a 9V	41
3.11. Alimentazione sezione a +6/-6V	45
3.12. Alimentazione sezione a -100V	49
3.13. Reset Magnetometro	50
3.14. Circuito Attivazione Carichi	52
CONCLUSIONI	53
<b>4. APPENDICE</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>62</b>
<b>RINGRAZIAMENTI</b>	<b>63</b>



## INTRODUZIONE:

Lo scopo di questo elaborato è quello di documentare le fasi operative legate alla realizzazione pratica del sistema di alimentazione del satellite Atmocube.

Atmocube è un picosatellite della famiglia Cubesat, realizzato interamente all'Università di Trieste per lo studio dello spazio vicino alla Terra nella fascia superiore ai 350km. Sviluppato nella sua nuova versione secondo le norme ESA, è composto da una carcassa cubica in alluminio di lato 10cm. Per quanto riguarda la strumentazione di bordo, il satellite è dotato di un magnetometro, uno spettrofotometro e un GPS compatibile spazio. Questi componenti, funzionando in sincrono, serviranno per costruire delle mappe dettagliate del campo magnetico terrestre e della radiazione solare. Ulteriori dati verranno forniti dall'osservazione dei parametri vitali del satellite stesso (temperatura, energia disponibile, ...) in modo tale da acquisire nuove conoscenze sulla progettazione di sistemi elettronici per impiego aerospaziale.

Il lavoro per lo sviluppo di un sistema di alimentazione per Atmocube è stato realizzato a partire dal lavoro di Marco De Din ("Progetto Preliminare di Gestione Energetica per il Satellite AtmoCube" – Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica Applicata AA 2004-2005) sulle celle solari e sulla gestione energetica.

Un ulteriore contributo allo sviluppo è stato fornito dal lavoro di Walter Caharija ("Sistema di Alimentazione del Satellite AtmoCube" - Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica Applicata AA 2005-2006), nel quale veniva presentato un prototipo del sistema in esame.

Partendo da questi due elaborati si è quindi cercato di capire, in primo luogo, quali erano i requisiti di progetto per il sistema di alimentazione. Definiti questi si è proceduto alla definizione delle possibili configurazioni. Una valutazione attenta di queste ha potuto definire la compatibilità, o eventualmente la non compatibilità, con le specifiche in uso e alla scelta di una configurazione ottima. Conclusa questa fase si è quindi passati alla fase di simulazione e alla sua realizzazione pratica.

Il progetto è stato diviso in quattro grandi capitoli.

Nel primo si è partiti con una presentazione generale del satellite in ogni sua parte, effettuando una breve descrizione delle stesse.

Nel secondo ci si è focalizzati sulle specifiche ESA che hanno deciso alcune modifiche sostanziali in Atmocube.

Nel terzo capitolo si vuole presentare come è stato realizzato il sistema di alimentazione in esame.

Nel quarto, e ultimo capitolo, si mettono a visione i progetti definitivi dell'intero sistema energetico per Atmocube.

Questo lavoro, nonostante sia completo, non si propone come versione definitiva ma come base per lo sviluppo dei prossimi satelliti.



## Capitolo 1: ARCHITETTURA ATMOCUBE

### 1. CARATTERISTICHE MECCANICHE:

Seguendo le specifiche per quanto riguarda i Cubesat, Atmocube è caratterizzato da una geometria cubica. Tutto è stato studiato in modo da ottimizzare la gestione degli spazi all'interno e all'esterno del satellite, e il posizionamento dei componenti è basato su precisi calcoli geometrici. La collocazione dell'elettronica è stata scelta in modo tale da rendere Atmocube una struttura "modulare", innovativa e facilmente aggiornabile in vista di possibili future missioni.

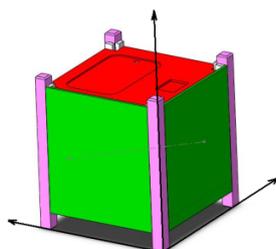
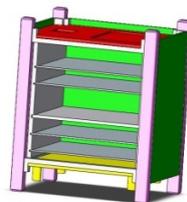
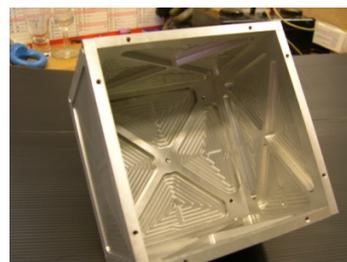


Figura 1.1-1.2-1.4



Design meccanico di Atmocube



## 2. ATMOCUBE:

Qui sotto è rappresentato lo schema generale utilizzato per lo sviluppo del sistema di alimentazione di Atmocube.

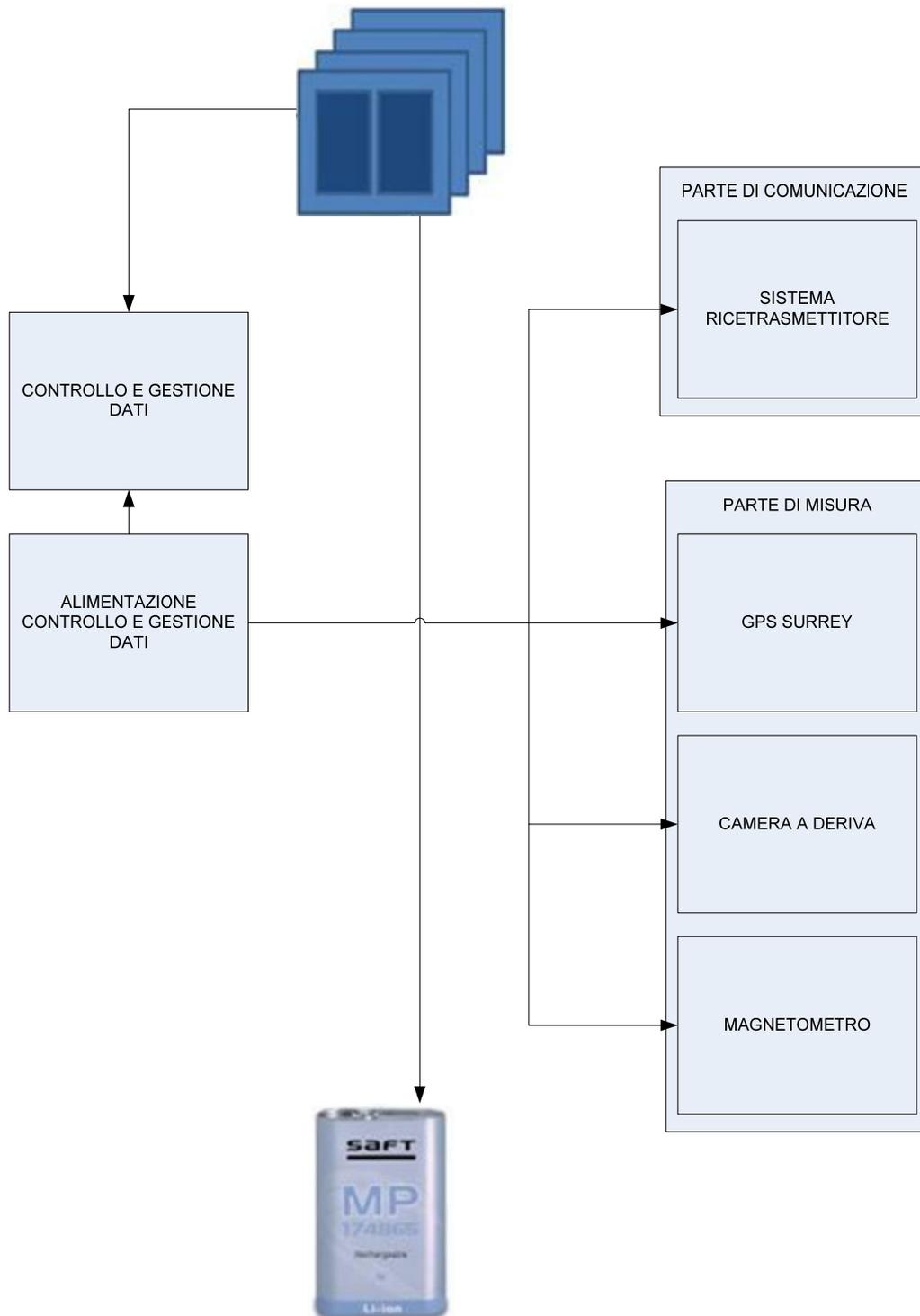


Figura 1.4 Schema generale del sistema di Atmocube

### 3. STRUMENTI DI MISURA:

Passo fondamentale per lo sviluppo di un sistema di alimentazione è l'analisi accurata dei componenti da alimentare. In Atmocube sono stati posti un magnetometro, uno spettrofotometro e un GPS. Qui in seguito si è effettuata un'analisi accurata dei componenti sopracitati e alcune precisazioni sugli stessi.

#### 1. MAGNETOMETRO:

Il magnetometro, modello Honeywell HMC2003, è un sensore ibrido costituito da tre magnetoresistenze in permalloy e da un'interfaccia elettronica dedicata. E' capace di misurare il campo magnetico lungo i tre assi (x, y, z) del sistema di riferimento locale, fornendo così informazioni complete su modulo, direzione e verso della grandezza misurata. L'unico problema legato a questo elemento è il materiale di cui è composto, il permalloy. Questo materiale ha una elevata permeabilità magnetica  $\mu$  e quindi necessita di un set/reset prima di ogni misurazione.

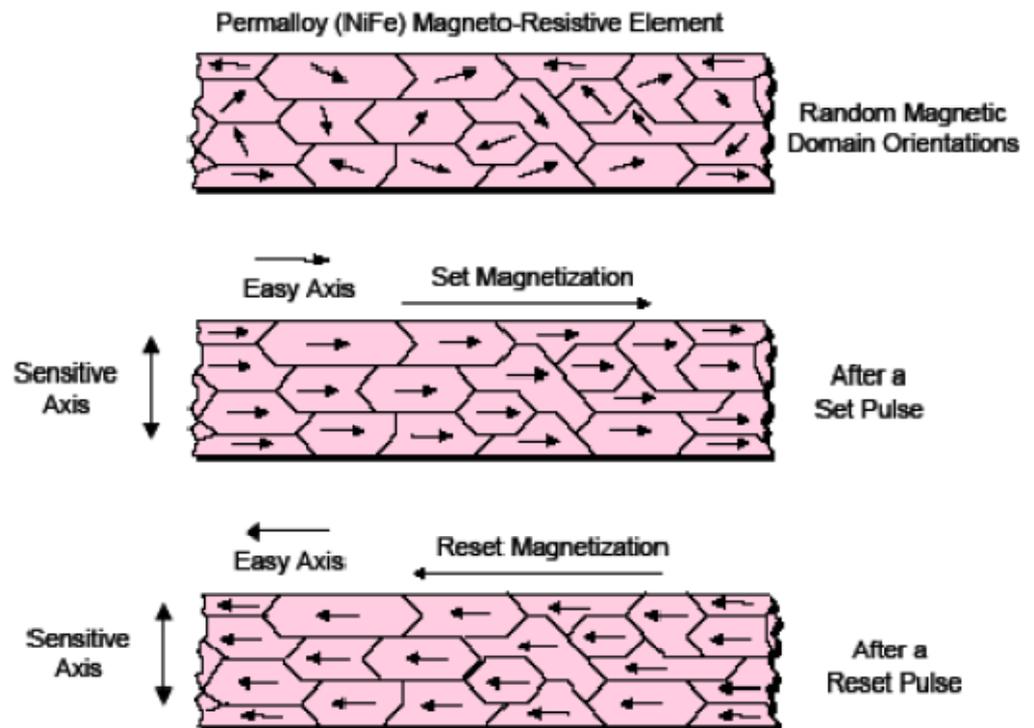


Figura 1.5 Allineamento dei dipoli magnetici del permalloy

Nel transitorio di set/reset il dispositivo richiede un breve ma intenso impulso di corrente generato da un circuito RC. In quest'intervallo di tempo, il sistema di alimentazione dovrà fornire allo strumento, oltre alla normale corrente richiesta, anche tale corrente di spunto. Di seguito sono elencate le informazioni sull'alimentazione del magnetometro:

MISURA	
$V_{DC}$ [V]	6-15
$I_{MAX}$ [mA]	20

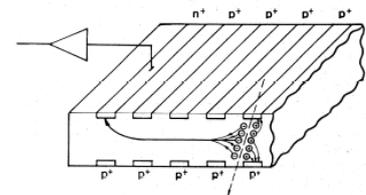
**Tabella 1.1 Alimentazione Magnetometro in fase di misura**

IMPULSO SET / RESET	
$I_{MAX}$ Marco De Din	5
Durata [ $\mu$ S]	2

**Tabella 1.2 Alimentazione Magnetometro in fase di set/reset**

## 2. SPETTROFOTOMETRO:

Come spettrofotometro è stata messa a disposizione per Atmocube, una cella a camera di deriva al silicio (SDD Silicon Drift Detector) realizzata nei laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Questo componente è realizzato su un sub-strato ad alta resistività di silicio drogato n di area circa di  $\sim 2 \text{ cm}^2$  e un spessore di  $300 \mu\text{m}$ . Questo tipo di detector è indicato per spettroscopie a basso rumore in quanto il suo funzionamento si basa sul concetto di "deflessione trasversa". Il range di misura dello strumento si estende fino all'ordine di  $70 \text{ keV}$ .



**Figura1.6 Un SDD sviluppato per Alice al LHC (destra) e lo schema del principio di trasporto della carica in un SDD (destra)**

### 3. GPS

Atmocube è stato dotato di un sistema di navigazione globale (Global Positioning System, GPS) spazio compatibile comprato dalla ditta inglese Surrey. Il modello in questione è il SSSL SGR-05U. La scelta è stata dettata dai limiti di spazio. La scelta di inserire un GPS è legata alla necessità di inserire nei dati raccolti, oltre all'intensità del campo magnetico e alla misura dello spettrofotometro, anche un'informazione sul dove è stata effettuata questa misura. In seguito vengono elencate alcune informazioni sul GPS Surrey.

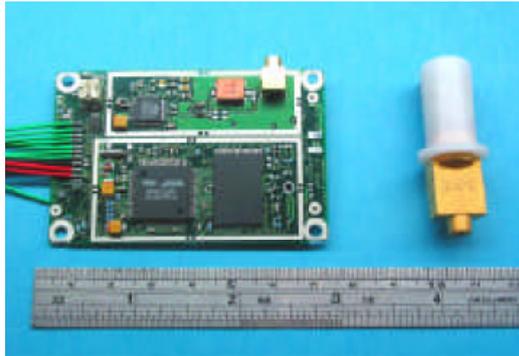


Figura 1.7 GPS Surrey SGR-05U

Caratteristiche SGR-05U	
Dimensioni [mm]	70x45x10
Massa [g]	20
V <sub>DC</sub> [V]	5
Consumi [W]	0,5-0,8

Tabella 1.3 Consumi GPS

### 4. SISTEMA DI COMUNICAZIONE:

Il sistema di comunicazione di Atmocube è composto da un LNA, un modem FSK RICETRASMITTITORE A BASSA POTENZA, un amplificatore di potenza capace di fornire la potenza necessaria affinché il segnale trasmesso dal satellite arrivi alla stazione radio-base e un commutatore d'antenna.

#### 1. LNA

L'amplificatore a basso rumore costituisce il primo stadio che viene incontrato partendo dal ricevitore. Il suo consumo si aggira intorno ai 20-30mA. Anche in questo caso l'alimentazione è stata convenuta a 5V. In ogni modo, si può stimare che la potenza massima richiesta dal LNA non supererà i 200mW.

#### 2. RICETRASMITTITORE A BASSA POTENZA

L'integrato Chipcom RICETRASMITTITORE A BASSA POTENZA svolge la funzione di modulatore/demodulatore FSK e può essere interfacciato direttamente al controllore del satellite. Il modem è dotato di un oscillatore locale interno, di conseguenza la tensione di alimentazione dovrà essere molto stabile. I consumi dell'integrato sono riportati nella tabella che segue:

RICETRASMITTITORE A BASSA POTENZA	
V <sub>DC</sub> [V]	1,8 – 3,6
I [mA]	TX: 28,9
	RX: 14,3 – 16,5

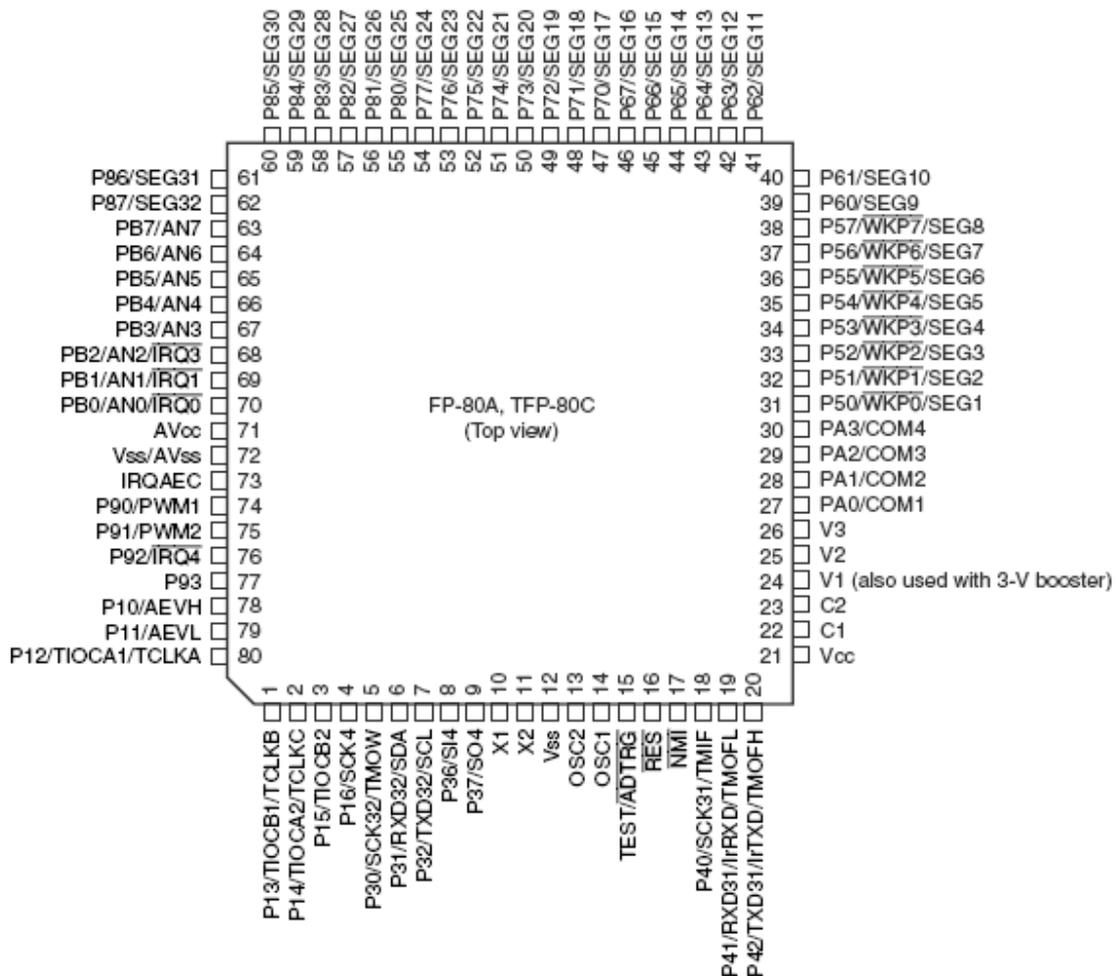
Tabella 1.4 Alimentazione ricetrasmittitore RICETRASMITTITORE A BASSA POTENZA

### 3. AMPLIFICATORE DI POTENZA

L'amplificatore di potenza del trasmettitore, è stato sviluppato da Mauro Popesso [C]. Il suo compito è di elevare fino a 2-3W la potenza del segnale a radiofrequenza (437MHz). Il rendimento del dispositivo è stato stimato intorno al 60%. L'alimentazione richiesta è pari a 5V. La potenza richiesta da questo apparato è pari a 8W. Nonostante questo, per problematiche legate al rendimento e alle dimensioni, si è dovuti ricorrere alla scelta di un Motorola modello MHW704. Questo amplificatore è funzionante in banda UHF ed è in grado di fornire la potenza necessaria alla comunicazione satellite - stazione radio-base.

### 5. CONTROLLO E GESTIONE

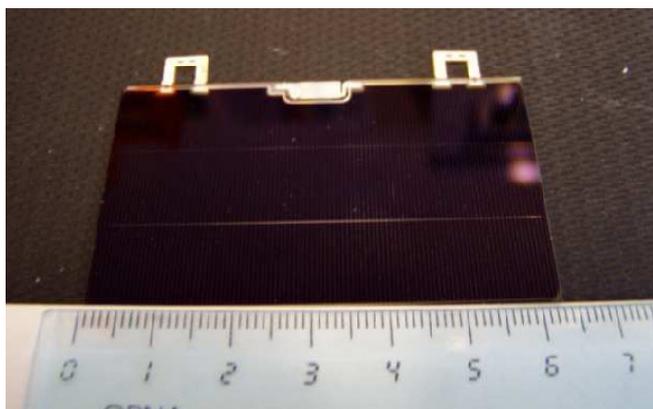
Il sistema di gestione e controllo è affidato ad un microprocessore ancora in fase di decisione. Tra questi possiamo citare l'Hitachi H8/38076R. Questa unità è dotata di un'architettura a 16bit ad alta velocità di elaborazione. E' fornito di 62 istruzioni base e 16 registri generali. Un'interfaccia LC è utilizzata per la comunicazione con l'esterno. E' inoltre fornito di un convertitore A/D da 10bit.



## 6. CELLE SOLARI

Per quanto riguarda gli apparati per ottenere l'energia necessaria al funzionamento di Atmocube, nulla è cambiato rispetto a prima. Si utilizzano gli stessi pannelli fotovoltaici Tecstar presentati da Marco De Din nel suo lavoro di tesi. Le caratteristiche di questi pannelli sono le seguenti:

- Tecnologia costruttiva: tripla giunzione all'arseniuro di gallio;
- Spazio compatibili;
- Efficienza: fino al 23%;
- Dimensioni:  $63.4 \times 38.7 \times 0.36$  mm



**Figura 1.8**      **Pannello solare Tecstar**

Rispetto al progetto pensato da Marco De Din non si utilizza più un sistema di gestione del punto di massimo rendimento MPPT, in quanto le attuali dimensioni di Atmocube non permettono l'inserimento di ulteriori componenti rispetto a quelli strettamente necessari. Le celle solari sono quindi interfacciate direttamente agli accumulatori di bordo.

## 7. BATTERIA

L'energia necessaria al funzionamento del satellite durante il periodo d'ombra è fornita dall'unica batteria di cui è dotato. Questa viene ricaricata durante la fase "in luce" con l'energia non utilizzata proveniente dalle celle solari. La scelta è caduta su una cella agli ioni di litio mod. MP174865 prodotta dalla SAFT, con le seguenti specifiche:

<b>MP 174865</b>	
Tensione Nominale	3.75V
Capacità tipica	4.8Ah
Temperature d'impiego	-20 ÷ 60° (carica) -50 ÷ 60°C (scarica)
Tensione Massima	4.2V ± 0.05V
Corrente Massima di carica	1C (5A)
Dimensioni	48 × 65 × 19 mm
Peso	124g



Questo modello è stato sviluppato appositamente per operare nel vuoto ed in assenza di pressione. L'unico problema riscontrato riguarda la temperatura minima di carica; il datasheet presentato dalla ditta costruttrice lascia intendere che sia possibile effettuare una carica anche a valori minori di 0°C. Nonostante questo restano i dubbi relativi al funzionamento in quanto il valore ottenuto dalle simulazioni sembra esser al di sotto di questo limite rendendo quindi impossibile ogni attività nel satellite. Sono in studio possibili soluzioni per schermarla termicamente in modo da mantenere questo valore al di sopra del valore critico.

## Capitolo 2: NUOVE SPECIFICHE

### 1. RICHIESTE ESA:

Nelle versioni di Marco De Din e Walter Caharija, Atmocube era basato sulle specifiche presentate da Alessandro Cuttin nella sua tesi “Progetto di Sistema del Satellite Atmocube Architettura di Comunicazione e Architettura di Sistema”, dove venivano presentate le linee guida per realizzazione del primo Cubesat dell’Università di Trieste. In tale versione, il satellite era stato sviluppato per esser spedito nello spazio grazie ad un razzo vettore russo. Secondo le richieste, le dimensioni stabilite erano 13x13x13 cm. Quelle specifiche, però, non soddisfavano i requisiti ESA, rendendo quindi impossibile il lancio del satellite sul razzo vettore VEGA. Al fine di ottenere la compatibilità con quest’ultimo, si è dovuto ridefinire completamente le caratteristiche strutturali in base al CUBESAT DESIGN SPECIFICATION (CDS) dell’Università della California.

In questo documento vengono presentate le caratteristiche necessarie che un picosatellite deve avere in ambito elettrico, meccanico ed operativo. Le sostanziali differenze rispetto a prima sono legate a:

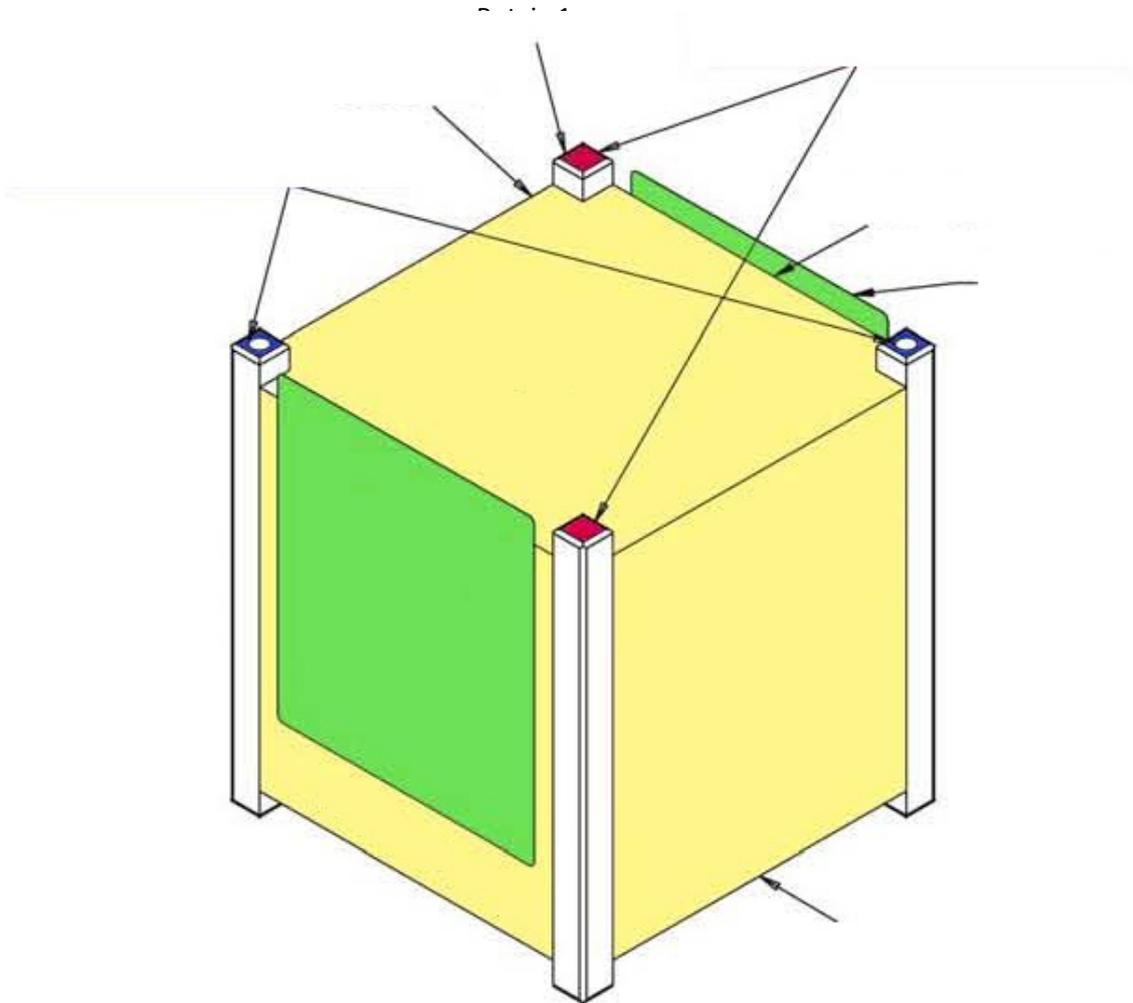
- Requisiti Strutturali;
- Dimensioni e Massa;
- Sicurezza;

Per quanto riguarda il primo punto, la struttura esterna del picosatellite deve esser sufficientemente resistente in modo da resistere ai valori massimi di carico definiti nei requisiti di test. La struttura esterna deve esser compatibile con il P-POD (Picosatellite POD) e, per questo:

- Le dimensioni del satellite devono essere 10x10x10cm;
- Le rotaie devono esser lisce e gli angoli arrotondati ad un raggio minimo di 1 mm;
- Almeno il 75% delle rotaie deve esser a contatto con il P-POD;
- Devono esser previsti dei distanziali nei punti di contatto tra i Cubesat (McMaster-Carr P/N: 84985A76). Possono venir usati anche distanziali creati su misura, ma il loro uso deve venir approvato;
- La struttura deve essere in Alluminio 7075 o 6061-T6. Se si volesse usare materiali diversi, questi dovrebbero avere una caratteristica di espansione termica simile all’Alluminio 7075-T73, usato per il P-POD, e comunque venir approvati.

Sono state stabilite anche richieste per quanto concerne la massa e le dimensioni dei satelliti. Secondo il CDS infatti:

- La massa massima ammissibile è di 1kg;
- Il centro di massa deve essere scostato di 2 cm rispetto il centro geometrico del sistema;
- Doppie e triple configurazioni sono ammesse. In questi casi le masse ammesse sono rispettivamente 2 e 3 kg e l'unica dimensione variabile è quella rispetto l'asse Z (in questo caso 227 mm per la configurazione doppia e 340.5 mm per quella tripla). Le dimensioni rispetto gli assi X e Y non variano.



**Figura 2.1** Visione isometrica Cubesat

Per quanto concerne la sicurezza, tutto deve sottostare a norme molto rigide e seguire accurate procedure prestabilite. Ogni singolo momento di vita del satellite, dal momento in cui verrà

predisposto per l'inserimento nel lanciatore fino a 30 minuti dopo il lancio, è già stato prestabilito. Secondo queste regole si deve avere che:

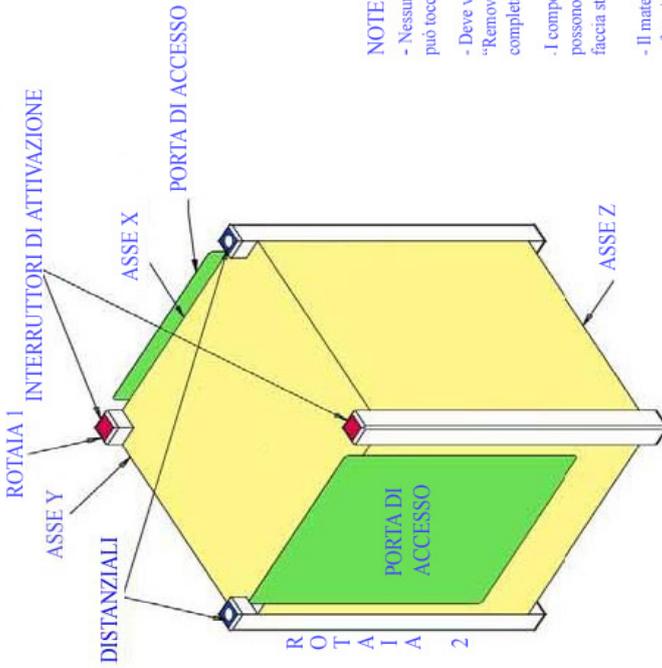
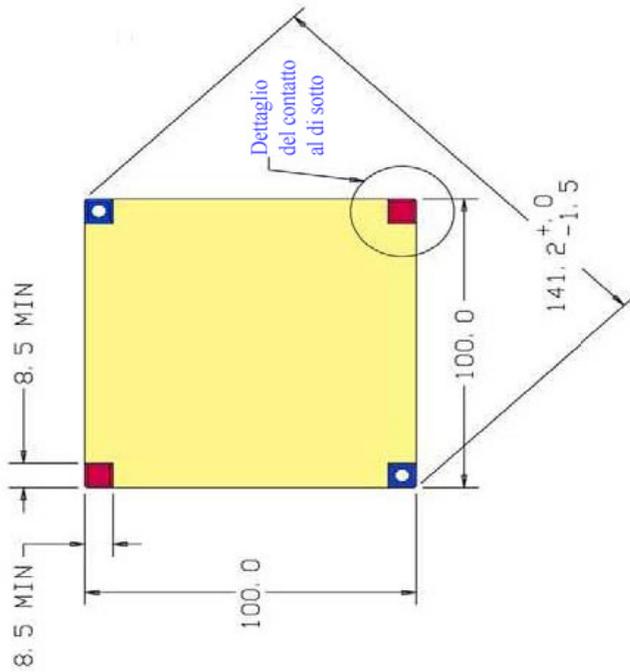
- Nessun componenti elettronico sia attivo nelle fasi precedenti al lancio in modo tale da prevenire interferenze in radio frequenza con il lanciatore. I Cubesat dotati di batterie ricaricabili devono essere completamente deattivati durante il lancio o lanciati con batterie scariche;
- Un interruttore di attivazione è richiesto (doppio viene raccomandato) in ogni satellite e deve esser posto come da figura 2.1;
- Un interruttore "Remove Before Flight" è richiesto per spegnere il Cubesat durante l'inserimento nel P-POD. Questo interruttore verrà poi tolto nel momento in cui questi viene posto nella sua sede all'interno del lanciatore.

Anche dopo il lancio del razzo vettore e negli istanti successivi il lancio di Atmocube si devono seguire procedure prestabilite. In questo caso:

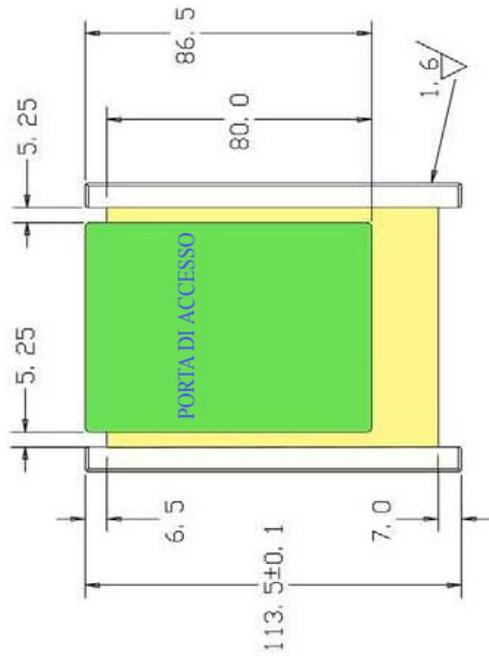
- Ogni Cubesat dotato di batterie ricaricabili deve esser in grado di ricevere un comando di spegnimento dalla stazione radio-base;
- Per ottenere un'adeguata distanza tra i Cubesat, le antenne devono venir estese solamente 15 minuti dopo l'espulsione dal P-POD (condizione determinata attraverso gli interruttori di attivazione). Boom ed eventuali pannelli solari posti su ali estensibili possono venir spiegati verso l'esterno solo 30 minuti dopo l'espulsione;
- I Cubesat possono entrare in Low-power transmit mode (LPTM) 15 minuti dopo l'espulsione dal POD. Per LPTM si intende la trasmissione di piccoli beacon dal satellite alla stazione a terra. Possono venir attivati i sistemi di trasmissione, o entrare in condizione di High-power transmit mode (HPTM) solamente dopo ulteriori 15 minuti dall'attivazione della LPTM;
- Gli sviluppatori devono ottenere e fornire tutte le documentazioni riguardanti le autorizzazione all'utilizzo delle frequenze. Per l'uso di frequenze radio-amatore si richiede anche un'autorizzazione a carattere internazionale fornita dall'International Amateur Radio Union (IARU).

Queste sono tutte le richieste che sono state poi decise di adottare al fine di realizzare Atmocube secondo i canoni richiesti dall'ESA. Partendo da questi punti sono state apportate molte modifiche al progetto che fino ad ora era stato portato in avanti dall'Università di Trieste.

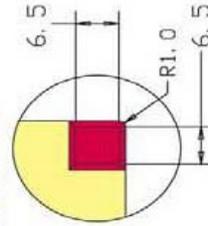
# CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE ATMOCUBE



- NOTE ADDIZIONALI:**
- Nessun altro componente eccetto le rotaie può toccare la parte interna del P-POD
  - Deve venir incorporato un interruttore "Remove Before Flight" o mandare il satellite completamente scarico;
  - I componenti sulle faccie laterali non possono estendersi oltre 6.5mm rispetto alla faccia stessa;
  - Il materiale delle rotaie deve esser rinforzato o fatto in un altro materiale che non sia alluminio;
  - I distanziali nei punti di contatto devono esser del tipo McMaster-Carr (P/N: 84985A76);
  - Un interruttore di attivazione è richiesto (doppio viene raccomandato) in ogni satellite;
  - Limite di massa: 1kg;
  - Il centro di gravità si deve trovare 2cm al di sotto del centro geometrico.



Dettaglio zona di contatto  
scala 2.0



## 2. CAMBIAMENTI IN ATMOCUBE:

Atmocube è un sistema in continuo sviluppo, e l'adozione delle specifiche ESA ha portato ulteriori modifiche rispetto all'ultimo progetto di Walter Caharija "Sistema di alimentazione". Prendendo come riferimento questo elaborato, si è visto che molte delle scelte adottate non erano più realizzabili e l'intero sistema di alimentazione andava rifatto in ogni sua parte. Questa scelta è legata sostanzialmente ai problemi di spazio che si sono venuti a creare nella nuova configurazione. Questi hanno portato ad eliminare lo spettro-dosimetro dalla lista componenti di Atmocube. L'eliminazione di uno dei due veri strumenti di misura ha quindi posto l'interrogativo di come sostituirlo. La scelta è caduta su un Cella a Camera di Deriva (Silicon Detector – Detector al Silicio) sviluppato nei laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN del Science Park di Padriciano. Altre modifiche riguardano gli accumulatori di bordo e le celle solari. Per quanto riguarda le batterie, l'adozione di 2 del tipo SAFT MP144350 "Space Compatible" non è più possibile. Le dimensioni riportate in tabella fanno vedere molto chiaramente che queste non sono più compatibili con il nuovo Cubesat. Per sostituirle, è stato adottato un modello della stessa famiglia, il SAFT MP174865. Questo tipo di celle a ioni di litio è dotato di elevata potenza ed è capace di fornire fino a 4,7 Ah a 3,75V.

<b>MP 144350</b>		<b>MP 174865</b>	
Tensione Nominale	3.6V	Tensione Nominale	3.75V
Capacità tipica	2.3Ah	Capacità tipica	4.8Ah
Temperature d'impiego	0 ÷ 50° (carica) -40 ÷ 60°C (scarica)	Temperature d'impiego	-20 ÷ 60° (carica) -50 ÷ 60°C (scarica)
Tensione Massima	4.1V ± 0.04V	Tensione Massima	4.2V ± 0.05V
Corrente Massima di carica	1C (2.6A)	Corrente Massima di carica	1C (5A)
Dimensioni	43 × 50 × 13.5 mm	Dimensioni	48 × 65 × 19 mm
Peso	70g	Peso	124g

L'adozione della MP 174865 ha portato al cambiamento di tutta l'architettura del sistema di alimentazione. Nel mentre prima si erano utilizzati solamente alimentatori switching STEP-DOWN, adesso la nuova configurazione richiede componenti STEP-UP.

Per quanto riguarda la sorgente di energia, le nuove dimensioni di facciata hanno ridotto anche il numero di celle solari che si potrà applicare. Nell'elaborato di Marco De Din, su una superficie laterale erano poste 3 pannelli; adesso se ne possono mettere solamente 2. Questo ha limitato ulteriormente la già poca energia a disposizione e ha spinto ulteriormente la scelta, per quanto riguarda gli alimentatori, su componenti ad alto rendimento e basse correnti quiescenti. Nel capitolo a seguire verrà spiegato, in modo dettagliato, come sono stati scelti i componenti, su quali è ricaduta la scelta e le motivazioni di tali scelte.

## Capitolo 3: SISTEMA DI ALIMENTAZIONE

### 1. CONSIDERAZIONI GENERALI

Valutato il bilancio energetico per Atmocube, si è passati alla progettazione dei blocchi costitutivi degli alimentatori. Valutate le tensioni necessarie in ingresso ad ogni singolo sistema si è passato alla valutazione dell'energia a disposizione durante ogni ciclo. Verificato questo dato si è passati alla ricerca dei componenti adatti a soddisfare le nostre richieste. In questo capitolo si presenterà lo sviluppo di ogni singolo blocco del sistema di alimentazione di Atmocube basandosi sul nuovo progetto di sistema presentato in figura 3.1. Verranno indicati anche i vincoli progettuali e le giustificazioni per le scelte di progetto. Per lo sviluppo del sistema di gestione energetica di Atmocube, come esposto precedentemente, ci si è basati sui lavori svolti negli anni precedenti da Marco De Din e Walter Caharija attualizzandoli in base alle nuove richieste in fatto di:

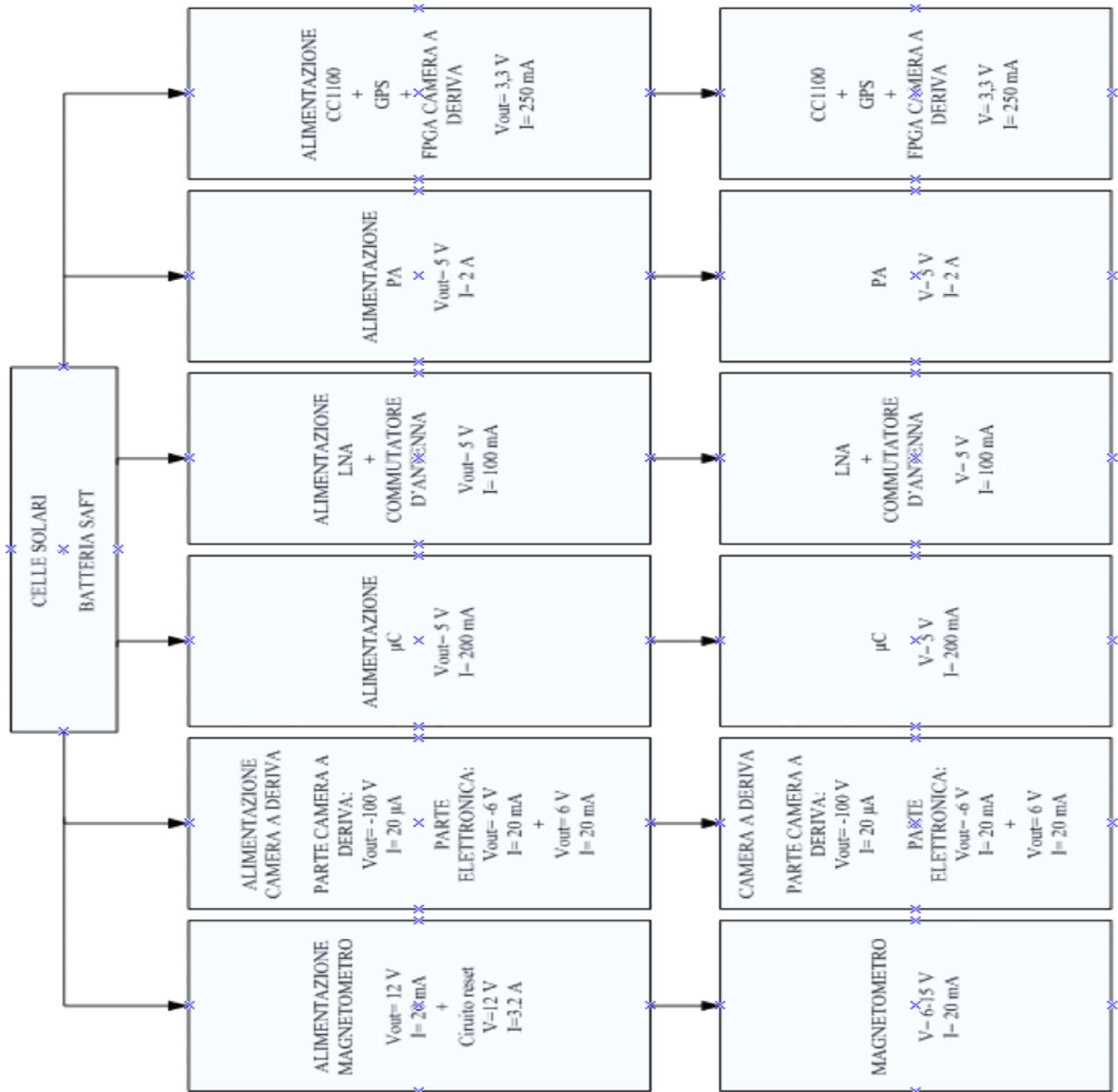
- Dimensioni;
- Immunità ai disturbi;
- Basse emissioni elettromagnetiche;
- Rendimento;
- Compatibilità spazio.

Queste linee guida ci hanno orientato alla scelta di convertitori ad alta efficienza. Per quanto riguarda le emissioni elettromagnetiche bisognerà trovare un modo per confinare le emissioni in modo da schermare in maniera sufficiente le parti più sensibili degli alimentatori.

### 2. ARCHITETTURA SISTEMA DI ALIMENTAZIONE

Qui di seguito verrà presentato l'architettura del sistema di alimentazione sviluppato per questo Cubesat. Al fine di ottenere un'elevata affidabilità si è cercato di strutturare il sistema in modo semplice e facilmente interfacciabile con il microprocessore e con il mondo esterno.

Ogni blocco funzionale del satellite è dotato di un singolo alimentatore. Per quanto riguarda lo spettrofotometro e il magnetometro sono dedicati rispettivamente 3 e 2 circuiti di alimentazione, in modo da alimentare ognuno dei loro sottosistemi. Per quanto riguarda il sistema ricetrasmittivo, il numero è stato ridotto a 3 per renderlo compatibile con i problemi di spazio che si presentano in questa versione di Atmocube. Per eseguire correttamente la sequenza di attivazione necessaria per avere l'adattamento d'impedenza in trasmissione, si è creato un circuito attivatore dei carichi su misura. Questo circuito è completamente controllato tramite il  $\mu$ C. Segue lo schema completo del sistema.



### 3. SORGENTE ENERGETICA

L'energia fornita ad Atmocube è data dal Sole attraverso le celle solari di cui è dotato su ogni faccia laterale. Differentemente dal progetto precedente queste non vengono fatte lavorare nel punto di massimo rendimento. Questa scelta limita la potenza fornita al satellite, la quale sarà valutata dal sistema di gestione e controllo composto dall'Hitachi H8/38076R. Questo componente, in ogni momento valuterà lo stato di carica della batteria e il valore della corrente fornita dal Sole e immagazzina i dati in modo tale da avere una mappatura dello stato del satellite in ogni momento della giornata. Se lo stato di carica dell'accumulatore di bordo risultasse basso, il sistema  $\mu\text{C}$  provvederà a sospendere ogni attività e mandare tutto il satellite in stato di "sleep" in modo da convogliare tutta l'energia su di esso e caricarlo completamente. Tornato in questa condizione ci si riporterà in condizioni di funzionamento normale.

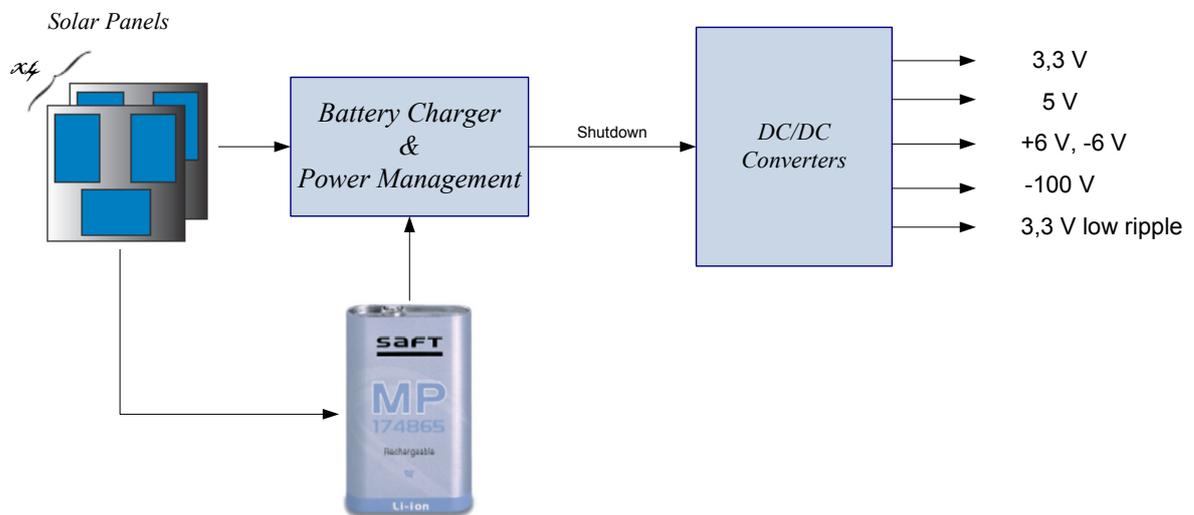


Figura 2.1 Sorgente di Energia di Atmocube - Schema riassuntivo del sistema

#### 4. BILANCIO ENERGETICO

Partendo dalle simulazioni fatte da Marco De Din e modificato il listato Matlab, si è provveduto ad ottenere una simulazione abbastanza accurata di quali saranno l'energia acquisita e quella consumata dal satellite durante un periodo di 8h. Dalle simulazione effettuate si sono ottenuti i seguenti risultati:

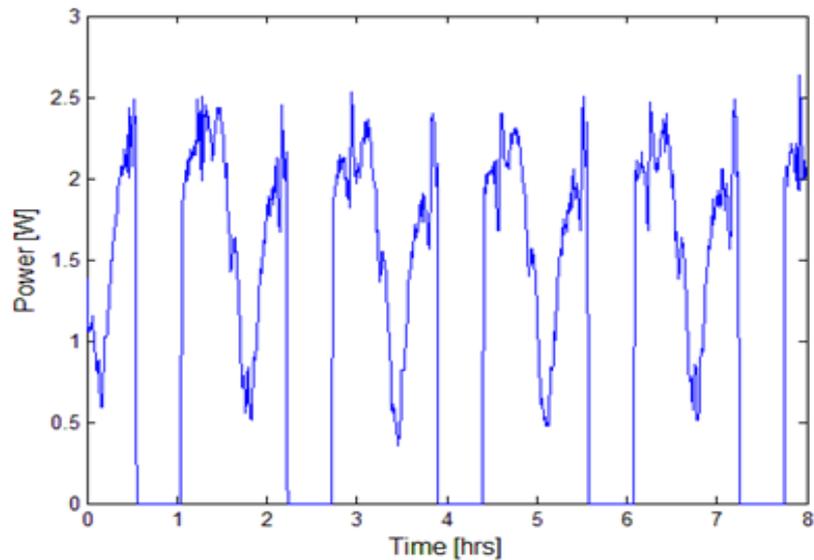


Figura 3.2 Potenza generata dalle celle solari

Questo è il risultato ottenuto per quanto riguarda l'energia generata attraverso le celle solari implementate sulle facce del picosatellite. Per quanto riguarda i consumi, invece, le simulazioni hanno dato questo risultato:

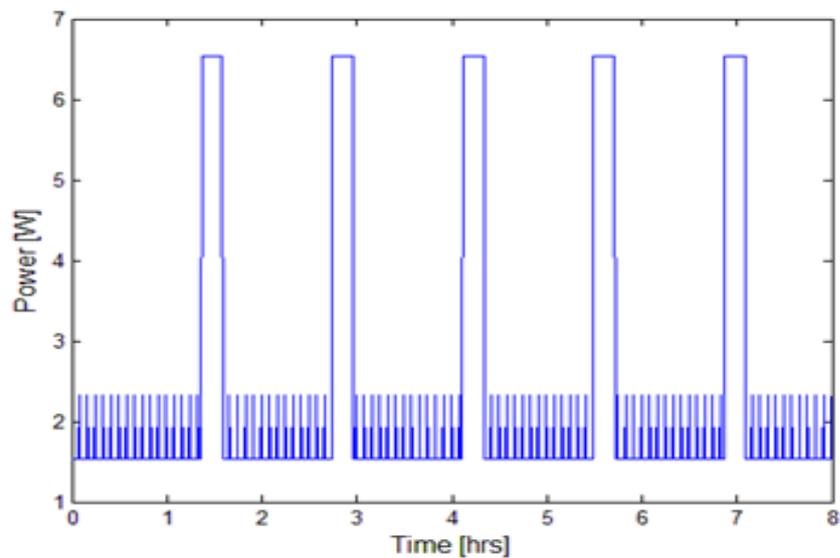


Figura 3.3 Potenza Assorbita da Atmocube

Dai dati così ottenuti possiamo quindi avere una stima dell'energia disponibile nei vari intervalli di tempo. Si nota che in fase di luce il satellite ottiene quasi 2Wh di energia dato che è praticamente uguale a quello medio, escludendo le fasi di trasmissione dove i consumi superano i 6W, in fase di misura. Questo indica che, se c'è, l'energia necessaria alla carica della batteria è minima. Questo implicherà sicuramente la presenza di un periodo, nella vita del satellite, nel quale sarà necessario ricaricare gli accumulatori di bordo.

#### 5. SOTTO-SISTEMI DI ATMOCUBE:

Si è partiti dalla valutazione delle tensioni in gioco nel sistema e, valutandole singolarmente, si è ottenuto la seguente tabella riassuntiva:

Sistema	Tensione	Corrente (valore massimo)
Camera a Deriva	+/- 6V (max. ripple 1mVpp)	20mA
	-100V (max. ripple 3mVpp)	20μA
	+3.3V	40mA
Magnetometro	6-15V	20mA
	15-20V	3-4A per 2μs (impulso di reset)
GPS	3.3V	200mA
Rx/Tx	3.3V	100mA
LNA	5V	20mA
PA	5V	2A
Commutatore Antenna	5V	20mA

Da quanto si vede, quasi tutti i componenti richiedono una tensione di alimentazione superiore a quella fornita direttamente dalla batteria. Questo implica l'utilizzo di alimentatori switching tipo alimentatori STEP-UP. Per quelli invece con tensione paragonabile a quella dell'accumulatore si è optato per alimentatori switching tipo BUCK-BOOST.

Si passa quindi ad una presentazione delle scelte effettuate per il sistema di alimentazione di Atmocube.

## 6. CONDENSATORI

Punto importante da considerare nella creazione di un circuito è la scelta dei componenti utilizzati. Un aspetto critico riguarda i condensatori. Questi componenti sono una parte importante per i circuiti di alimentazione. Per questi si introduce un circuito equivalente che sarà adoperato in ogni fase dello sviluppo e si effettueranno alcune considerazioni su questo. Vista la disponibilità data dai test effettuati per le versioni precedenti di Atmocube, si utilizzeranno condensatori ceramici prodotti dalla Murata. Il circuito equivalente, scelto in base ai dati forniti dalla ditta, è il seguente:



**Figura 3.4**      **Circuito equivalente del condensatore**

Con:

- ESR              valore della resistenza serie del condensatore
- ESL              valore della induttanza serie del condensatore
- C                  valore della capacità del condensatore.

Questi parametri sono variabili con la temperatura e influenzano le caratteristiche del condensatore in modo anche rilevante. Si può dire inoltre che la ESR varia in funzione della frequenza di funzionamento, mentre la ESL e la C in funzione della tensione di polarizzazione.

I condensatori Murata in dotazione sono della famiglia X7R e con:

- Temperatura di operatività:  $-55 \div +125^{\circ}\text{C}$
- ESR: molto bassa nel range di frequenze utilizzato
- $\Delta C_{\text{max}}$  in funzione della temperatura:  $\pm 15\%$
- Sensibilità alle tensioni di polarizzazione modesta.

Unico inconveniente di questi componenti è il fenomeno piezoelettrico. In corrispondenza ad una tensione sinusoidale si ha una leggera emissione di onde acustiche data dalla vibrazione che si genera in essi. Questo inconveniente non si rileva nello spazio vista l'assenza dell'atmosfera.

Il limite fisico dei componenti in nostra dotazione è il valore massimo di capacità. Questa famiglia, infatti, arriva al massimo a 22  $\mu\text{F}$ . Per valori superiori sarà necessario utilizzare elementi elettrolitici di buona qualità o al parallelo di più condensatori ceramici.

## 7. ALIMENTAZIONE SEZIONE A 5V

Il satellite è dotato di diverse apparecchiature che richiedono un valore di tensione pari a 5V ma senza particolari richieste. Tra questi:

- LNA
- $\mu\text{C}$
- L'INTEGRATO ATTO A GENERARE L'IMPULSO DI RESET DEL MAGNETOMETRO

I consumi di ciascuno dei blocchi in questione non supera i 100mW. Si tratta però di componenti essenziali per la vita del satellite al pari degli altri e quindi vanno progettati con la massima cura ed esser dotati di un alimentatore affidabile ed efficiente. Data la tensione richiesta, la scelta di un alimentatore DC/DC switching di tipo boost (step up) è stata l'unica richiesta di progetto. Si è quindi passato all'analisi delle varie possibilità proposte dalla Linear Technologies. L'integrato scelto per tale sistema è il LTC3427 e le motivazioni di tale scelta sono le seguenti:

- Supporta il range della tensione in ingresso;
- La sua massima corrente in uscita è superiore ai 100mA necessari;
- E' facilmente configurabile per avere i 5V in uscita;
- Il ripple in uscita è praticamente nullo;

- Ha una bassa corrente quiescente ( $1\mu\text{A}$ ).

Queste motivazioni, unite al fatto che esiste un tool di test pronto (LTspice/SwitcherCAD III) e alla ricca dotazione di informazioni presente nel datasheet per quanto riguarda la costruzione di un PCB ben schermato e a basse emissioni elettromagnetiche hanno portato alla scelta di questo componente per la parte a 5V.

#### i. Funzionamento dell'integrato LTC3427

L'integrato LTC3427 è un convertitore DC/DC switching del tipo boost ad alta efficienza funzionante ad una frequenza fissa di 1.25Mhz. Questo componente è a basso rumore e dotato di un pin di abilitazione (SHUTDOWN) attivo negativamente. E' dotato di un amplificatore di errore a transconduttanza che misura la differenza di tensione riferita ad un valore interno di 1.24V. Se il potenziale del piedino FB fosse troppo elevato rispetto al riferimento, si disabiliterebbe lo stadio d'amplificazione. Il loop di controllo del convertitore di potenza è alimentato internamente attraverso l'amplificatore d'errore.

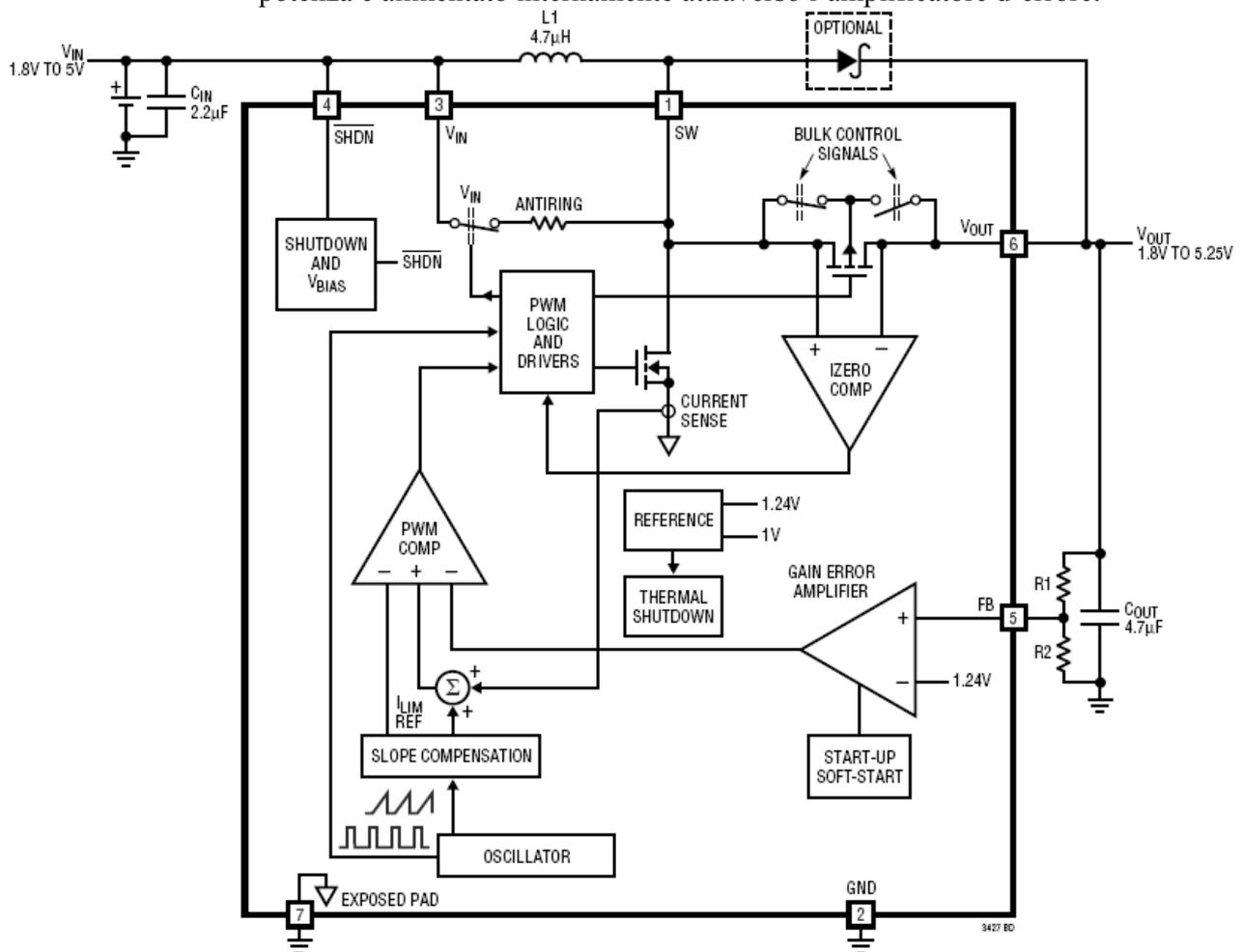


Figura 3.5 Schema a blocchi dell'integrato LTC3427

ii. Configurazione Circuitale e dimensionamento

La configurazione scelta per questo alimentatore è stata tratta dalle note applicative ed è la seguente:

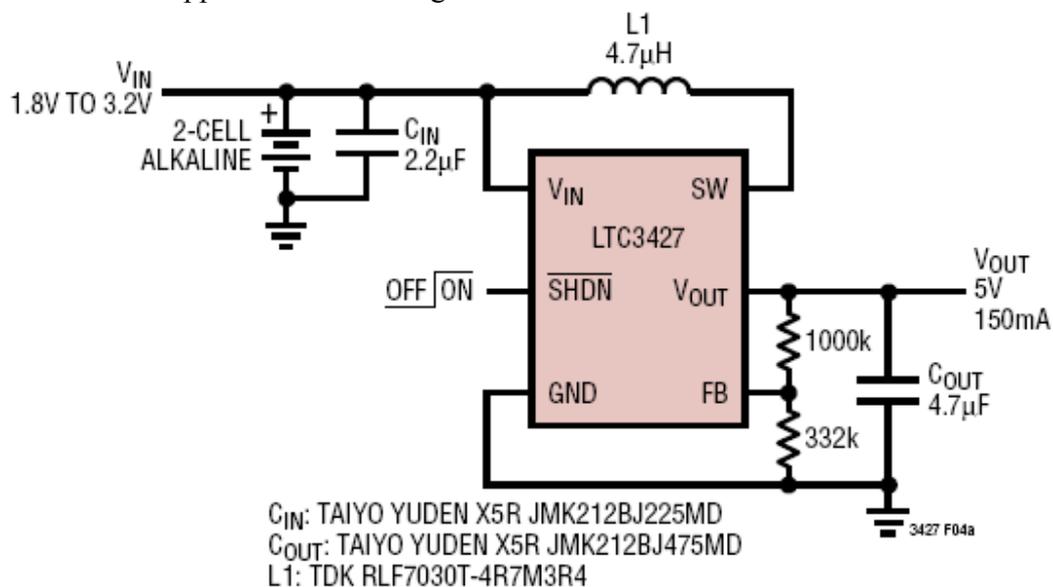


Figura 3.6 Soluzione circuitale per l'alimentatore da 5V

Con il relativo grafico dell'efficienza:

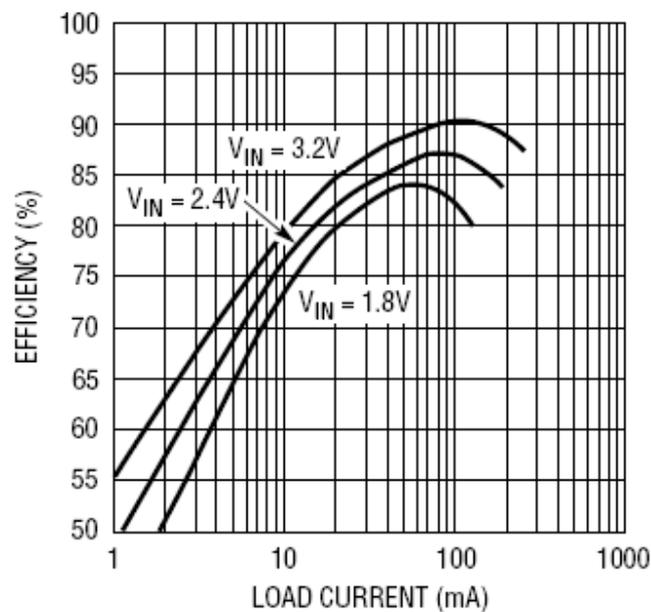


Figura 3.7 Rappresentazione dell'efficienza in funzione del carico

Si passa adesso ad effettuare il dimensionamento dei componenti.

**TENSIONE DI USCITA:**

L'amplificatore d'errore è un amplificatore differenziale e determina attraverso il partitore d'uscita il valore della tensione fornita dal componente.

Per effettuare il calcolo si parte prendendo la formula fornita dai datasheet del componente e, imponendo un valore per la tensione d'uscita e per una delle 2 resistenze si ottiene il valore dell'altra. In questo caso:

$$V_{out} = 1.24 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

E' utile impiegare resistenze elevate e precise (kΩ e 1% di tolleranza) in modo tale da rendere trascurabile la corrente assorbita dal partitore e garantire la stabilità della tensione.

Ponendo  $R_2 = 332\text{k}\Omega$  e  $V_{out} = 5\text{V}$  otteniamo

$$R_1 = 1000\text{k}\Omega$$

Quindi ottengo la seguente configurazione:

$$V_{out} = 5\text{V}$$

$$R_1 = 1000\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 332\text{k}\Omega$$

### SCELTA DELL'INDUTTORE:

L'integrato LTC3427 può utilizzare induttori a chip o montati superficialmente, grazie alla sua alta frequenza di funzionamento. Un valore minimo dell'induttanza è fissato a  $4,7\mu\text{H}$  per le tensioni superiori a  $3,6\text{V}$ . Un vasto range di valori di induttanze permettono di avere un valore di corrente in uscita maggiore diminuendo il valore del ripple di corrente presente nell'induttore stesso. Un valore approssimato di questo limite viene dato dal grafico qui riportato

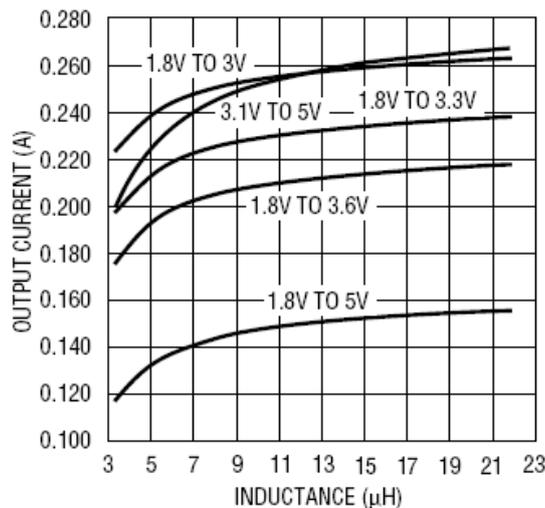


Figura 3.8 Andamento della corrente in uscita in funzione dell'induttanza

Questo grafico non rappresenta altro che la funzione

$$I_{out(max)} = n \cdot \left( I_p - \frac{R_2 \cdot D}{f \cdot L \cdot 2} \right) \cdot (1 - D)$$

Con:

- n = efficienza stimata;
- $I_p$  = valore limite del picco di corrente (minimo  $0.5\text{A}$ )
- $V_{IN}$  = tensione d'ingresso
- D = duty cycle
- f = frequenza ( $1.25\text{Mhz}$ )
- L = valore dell'induttanza

Il valore del del picco di corrente è fissato al 20-40% del valore massimo di corrente che passa in esso ( $I_p$ ). Gli induttori ad alta frequenza con nucleo in ferrite riducono la dipendenza dalla frequenza del valore delle perdite rispetto al valore ottenuto con nuclei in ferro aumentando l'efficienza. L'induttore va scelto a bassa ESR in modo da limitare l'effetto delle perdite negli avvolgimenti interni e devono esser sufficienti per resistere al picco di corrente senza saturare.

Per questo, seguendo ogni singola considerazione fatta fino ad ora, è stato scelto di impiegare l'induttore da 4,7  $\mu\text{H}$  della TOKO modello DE2810C è dotato delle caratteristiche da noi richieste.

### **SCELTA DEI CONDENSATORI D'INGRESSO:**

L'integrato LTC3427 necessita di un singolo condensatore in ingresso il cui valore è dato nel circuito in figura 3.6. Le osservazioni da fare su questo componente sono state effettuate in precedenza, comunque nelle prossime righe si vuol riassumere alcuni degli aspetti fondamentali.

Il compito del condensatore in ingresso è quello di ridurre l'eventuale ripple presente nella sorgente di alimentazione, oltre a limitare l'eventuale picco di corrente richiesto alla batteria. Un condensatore con valore compreso tra 2,2 e 10 $\mu\text{F}$  può bastare per qualsiasi richiesta. Condensatori composti di materiali X7R e X5R sono preferibili per la loro capacità di mantenere il valore in un grande range di temperatura.

Come condensatore d'ingresso si sceglie il modello

$C_1$	Murata	GRM3195C2A202JA01B	2 $\mu\text{F}$ , 100V
-------	--------	--------------------	------------------------

È un condensatore ceramico del tipo X7R, quindi con bassa ESR e alta stabilità in temperatura.

Resta l'inconveniente dato dalla ESL che, con la corrente assorbita dall'integrato, potrebbe generare degli impulsi di corrente. Si potrebbe evitare questo implementando in parallelo un condensatore a bassa ESL che ridurrebbe sostanzialmente l'effetto dei picchi.

### SCELTA DEI CONDENSATORI D'USCITA:

I condensatori d'uscita servono rendere meno rilevante il valore del ripple in uscita all'integrato. E' opportuno, quindi, che questi abbiano un valore d'impedenza basso alla frequenza di funzionamento del circuito. Si devono trattare quindi di condensatori a bassa ESR.

Il valore necessario per il nostro circuito è pari a  $4,7 \mu\text{F}$  ed il modello:

$C_{\text{out}}$             Murata            GRM033B10J472KA01B             $4,7 \mu\text{F}, 6,3\text{V}$

Lo schema complete di questo circuito è presente in appendice.

### SIMULAZIONE IN AMBIENTE SWITCHERCAD III:

Un test è stato svolto in ambiente switcherCAD III. Questo software di simulazione è fornito gratuitamente dalla Linear Technologies. E' creato per la simulazione del comportamento degli alimentatori switching e si basa su una versione modificata dello Spice. Si è cercato di predisporre i componenti in modo tale da rendere la simulazione il più veritiera possibile. Nelle figure seguenti sono presentati i risultati ottenuti dalle simulazioni a pieno carico con tensione di alimentazione fissata al minimo di batteria ( $2,7 \text{ V}$ ).

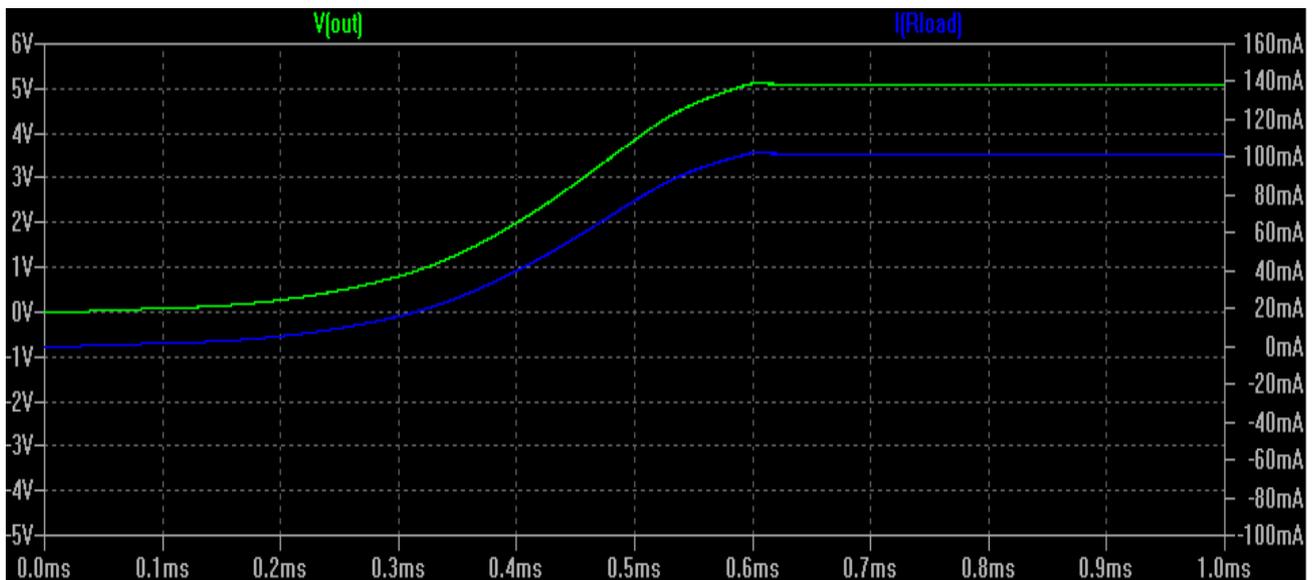


Figura 3.9 Simulazione in condizione di massimo carico dell'integrato LTC3427

Come si vede da tale grafico, il valore della tensione, anche in presenza del carico massimo rimane fissa ad un valore prossimo al valore richiesto. Esiste un transitorio di  $0,7 \text{ ms}$  ma non influenza il buon funzionamento del circuito.

Dalle simulazioni fatte, l'efficienza di tale circuito si attesta intorno all'80-90%.

## 2. ALIMENTAZIONE SEZIONE A 5V ALTA POTENZA

Per quanto riguarda la sezione a 5V per lo stadio di potenza una possibile soluzione è stata trovata nell'integrato Linear Technologies LTC3428. Questo integrato supporta le tensioni d'ingresso fornite dal sistema e riesce a fornire in uscita i 2 A di corrente necessari al funzionamento.

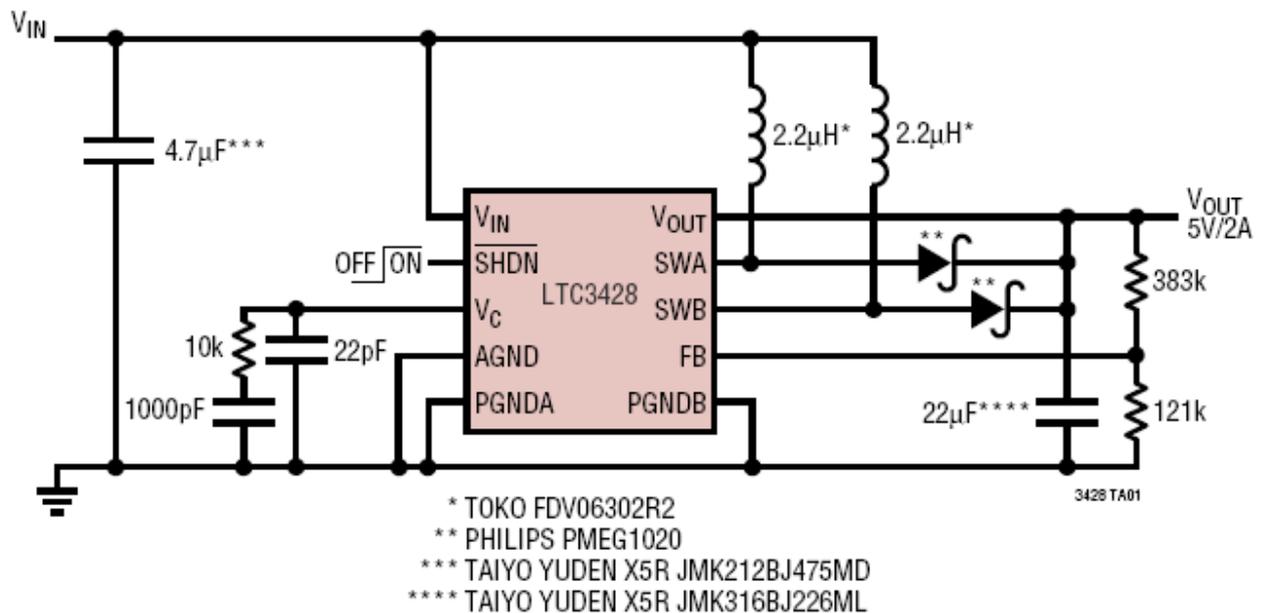


Figura 3.10 Circuito per il sistema ad alta potenza a 5V

Questo componenti richiede 2 induttori da 2,2µH per il suo funzionamento ma è dotato di basse correnti quiescenti e alto rendimento (fino al 92%). In questo paragrafo non verrà trattata la spiegazione completa dell'integrato visto che è stata già stata fatta in modo più che esaustivo per l'integrato 3427. Si riportano comunque i valori di resistenze e capacità:

$$R1 = 383\text{k}\Omega \quad \text{tolleranza } 1\%$$

$$R2 = 121\text{k}\Omega \quad \text{tolleranza } 1\%$$

### 3. ALIMENTAZIONE SEZIONE A 3,3V

Come elemento per il sistema di alimentazione a 3,3 V si utilizza un prodotto Linear modello LTC3530. Questo componente è un alimentatore switching buck-boost e serve per alimentare i componenti:

- RICETRASMITTITORE A BASSA POTENZA;
- La parte FPGA dello spettrofotometro;
- Il GPS Surrey.

La quantità di corrente richiesta è pari a 200mA. Progettando un sistema capace di erogare 250mA si sarà in grado di gestire tutti e 3 i componenti che alimenta. Essendo comunque componenti non sempre attivi, si è progettato un attivatore di carichi a 3,3 V (e una versione a 5 V) che verrà presentato in seguito. Il circuito del componente in questione è il seguente.

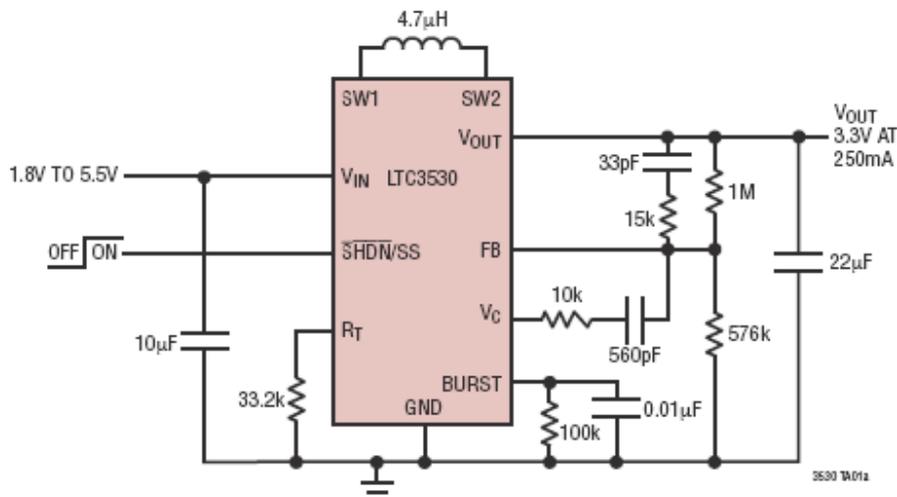


Figura 3.11 Circuito per il sistema a 3,3V

Il circuito in questione è dotato di alto rendimento, ampio range di tensioni d'ingresso e di funzionamento a frequenza fissa (programmabile tra 300kHz e 2MHz). La corrente quiescente è molto bassa e quindi compatibile con i nostri requisiti.

Questo integrato è buck-boost. Questo serve ad indicare che può funzionare sia con una  $V_{in} > V_{out}$  (buck), sia con  $V_{in} < V_{out}$  (boost). Qui di seguito viene posto a visione il circuito interno all'integrato:

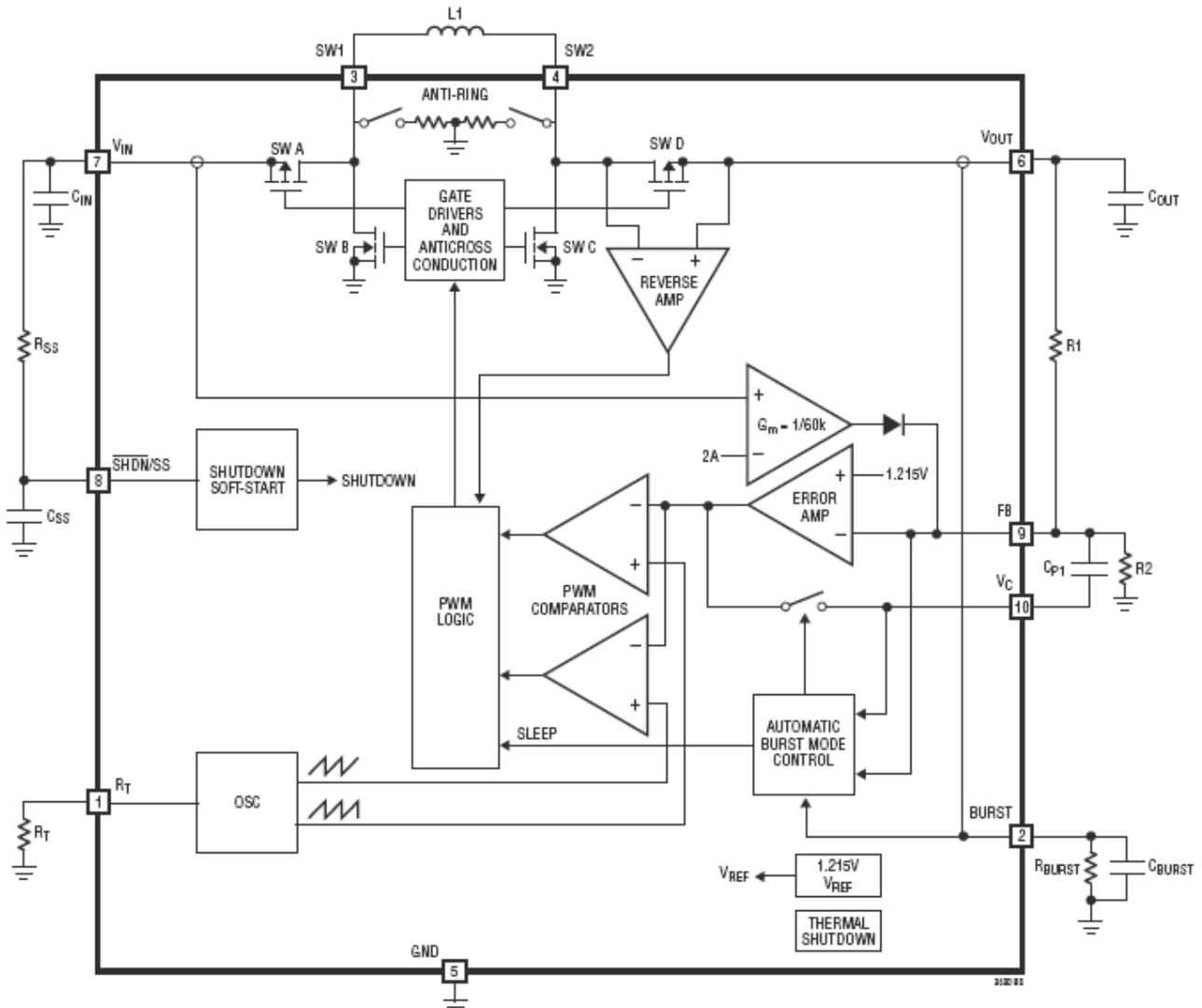


Figura 3.12 Circuito interno dell'integrato LTC3530

La frequenza può essere fissata attraverso il valore della resistenza collegata con  $R_t$ , attraverso l'equazione:

$$F(\text{kHz}) = \frac{33,170}{R_t}$$

Con  $R_t$ , espressa in  $\text{K}\Omega$ .

Per quanto riguarda l'amplificatore d'errore, si può dire che è un amplificatore di tensione. La parte amplificatore, da FB a  $V_c$ , è compensata attraverso una rete di

compensazione, in modo tale da ottenere la stabilità del componente. Per ampliare la banda è stata implementata una rete R-C retroazionata.

### **FUNZIONAMENTO IN MODALITA' BUCK:**

Quando è in questa configurazione, lo switch D è sempre attivo, mentre il C è sempre spento. Quando il controller di tensione interno  $V_{CI}$ , passa oltre la tensione di  $V_1$ , l'uscita A entra in fase di switching. Nel periodo in cui l'uscita è disattiva, in modo sincrono si attiva B per il periodo restante. Le 2 uscite entrano in switching alternativamente come un convertitore buck sincrono. Nel momento in cui il valore del controllo di tensione aumenta, il duty cycle di A aumenta fino al valore:

$$D_{MAX\_BUCK} = 100 - D_{4SW}\%$$

Con  $D_{4SW}$  pari al valore del duty cycle percentuale del quarto switch, che è ottenibile da:

$$D_{4SW} = (150ns \cdot f) \cdot 100\%$$

Con  $f$  rappresentante la frequenza di funzionamento in Hz.

### **FUNZIONAMENTO IN MODALITA' BOOST:**

Quando è in questa configurazione, lo switch A è sempre attivo, mentre il B è sempre spento. Quando il controller di tensione interno  $V_{CI}$ , passa oltre la tensione di  $V_3$  l'uscita si ha che gli switch C e D iniziano ad entrare in fase di switching alternati. Questa operazione è tipica di un regolatore di tensione boost. Il massimo del valore del duty cycle ottenibile è il 90% e si ottiene quando  $V_{CI}$  passa oltre la tensione di  $V_4$ .

I componenti utilizzati per questo tipo di alimentatore sono i seguenti:

$$R1= 340k\Omega \quad R2=200k\Omega$$

Una simulazione a pieno carico delinea che questo sistema può essere impiegato per il nostro progetto:

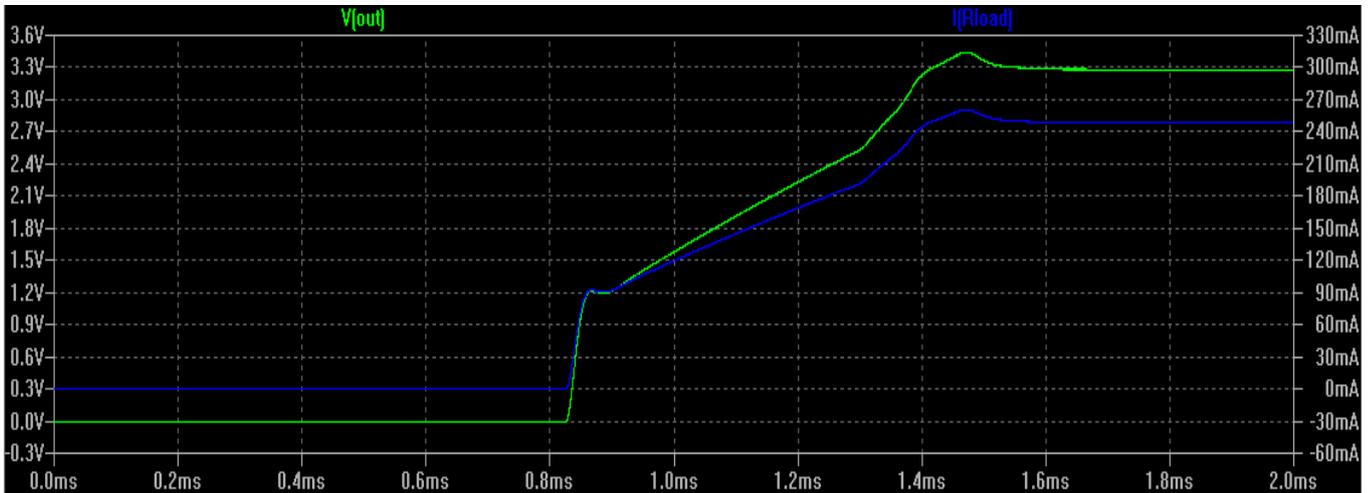


Figura 3.13 Simulazione per l'integrato LTC3530 in condizioni di carico massimo

L'efficienza di tale circuito è stata calcolata attraverso la formula:

$$\text{Efficienza} = \frac{\eta \cdot I_{\text{load}}}{40\mu\text{A} + I_{\text{load}}}$$

Con  $\eta$  pari al 90% in burst mode. Per i valori a noi noti, questa si attesta intorno al 89%

#### 4. ALIMENTAZIONE SEZIONE A 9 V:

Questa parte del sistema di alimentazione è necessaria per il funzionamento del magnetometro. Questo componente della parte di misura di Atmocube necessita di una tensione di almeno 9V al suo ingresso e di una corrente di 20mA. La scelta è quindi ricaduta sul LTC3459. Questo componente Linear Technologies rappresenta un microsistema a bassa potenza. E' dotato come gli altri fin'ora introdotti di basse correnti quiescenti, grande range per le tensioni d'ingresso ed alto rendimento; di più rispetto agli altri ha anche ridotte dimensioni. Il circuito di tale amplificatore è il seguente:

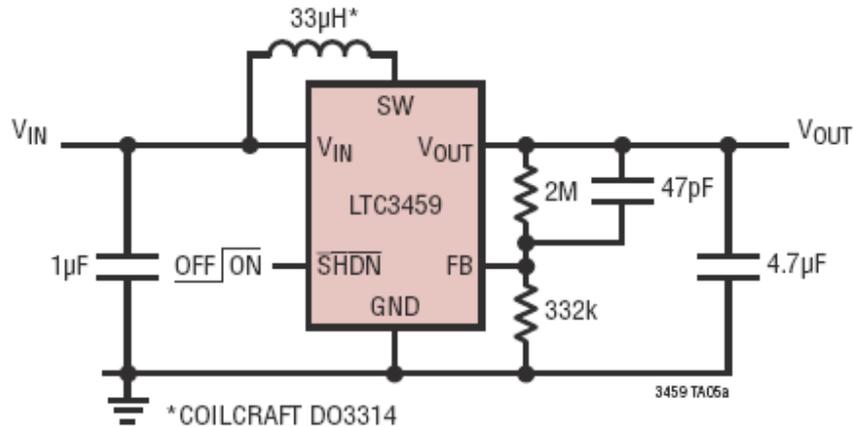


Figura 3.144 Circuito per il sistema a 9V

### TENSIONE DI USCITA:

Per effettuare il calcolo si parte prendendo la formula fornita dai datasheet del componente e, imponendo un valore per la tensione d'uscita e per una delle 2 resistenze si ottiene il valore dell'altra. In questo caso:

$$V_{out} = 1.22 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Come esposto precedentemente è utile impiegare resistenze elevate e precise (kΩ e 1% di tolleranza) in modo tale da rendere trascurabile la corrente assorbita dal partitore e garantire la stabilità della tensione.

Ponendo  $R_2 = 332\text{k}\Omega$  e  $V_{out} = 9\text{V}$  otteniamo

$$R_1 = 2120\text{k}\Omega$$

Quindi ottengo la seguente configurazione:

$$V_{out} = 9\text{V}$$

$$R_1 = 2120\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 332\text{k}\Omega$$

### SCELTA DELL'INDUTTORE:

L'integrato LTC3459 necessita di un induttore di almeno  $15\mu\text{H}$  per il suo corretto funzionamento. Mettendo un valore più grande si ha come beneficio una limitazione del ripple di corrente e in una minor frequenza di switching. Sono consigliati induttori a nucleo di ferrite (causa delle alte frequenze). Il modello scelto in questa occasione è

L	TOKO	LLB2520	$22\mu\text{H}$	$2.5\ \Omega, 160\text{mA}$
---	------	---------	-----------------	-----------------------------

### SCELTA DEI CONDENSATORI:

I condensatori richiesti in questo convertitore boost sono 2:

- Un condensatore d'ingresso che deve essere di materiale X5R e di valore almeno  $1 \mu\text{F}$ ;
- Un condensatore della tensione d'uscita che deve essere anch'esso di materiale X5R e di valore compreso tra  $2,2 \mu\text{F}$  e  $10 \mu\text{F}$ .

La scelta quindi ricade sempre su un modello della Murata (per le motivazioni precisate ad inizio capitolo) e precisamente su:

$C_{\text{IN}}$	Murata	GRM033B11E102KA01B	$1 \mu\text{F}, 25\text{V}$
$C_{\text{out}}$	Murata	GRM033B10J472KA01B	$4,7 \mu\text{F}, 6,3\text{V}$

La simulazione del circuito ha dato questi risultati:

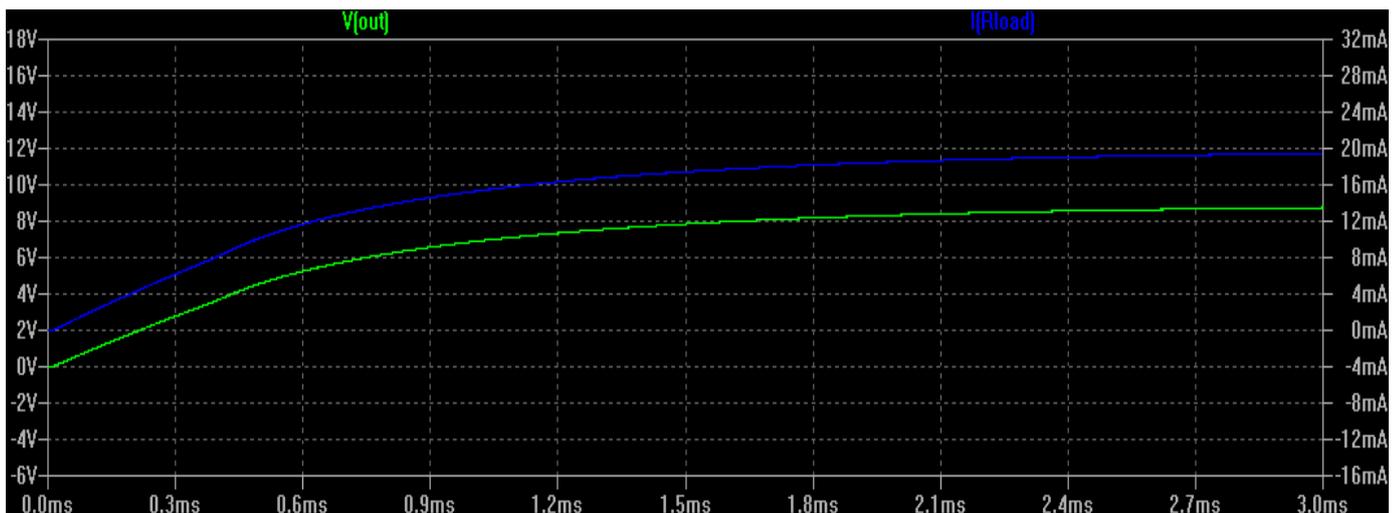
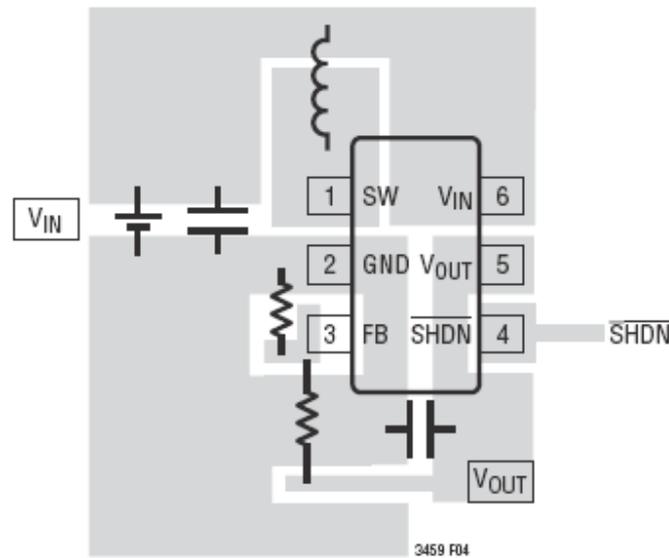


Figura 3.15 Simulazione per l'integrato LTC3459 in condizioni di carico massimo

### **SCHEMATURA PCB:**

Essendo molto elevata la frequenza di funzionamento di questo LTC3459, si è dovuto seguire delle linee guida in modo tale da rendere minime le emissioni elettromagnetiche. In figura è presentato il modo in cui è necessario disporre i componenti in modo funzionale.



**Figura 3.16** Rappresentazione del PCB per un'ottima schermatura delle emissioni elettromagnetiche

E' richiesta un grande piano di massa per rendere minimo l'incremento di temperatura del chip ed è necessario mantenere il più breve possibile la lunghezza della pista che si collega alla batteria.

## 5. ALIMENTAZIONE SEZIONE A +6/-6 V:

Questa alimentazione è richiesta per l'elettronica interna allo spettrofotometro. Questa tensione duale viene ottenuta attraverso l'utilizzo di un LT1613 (+6V) e di un LT1611 (-6V). I circuiti sono i seguenti:

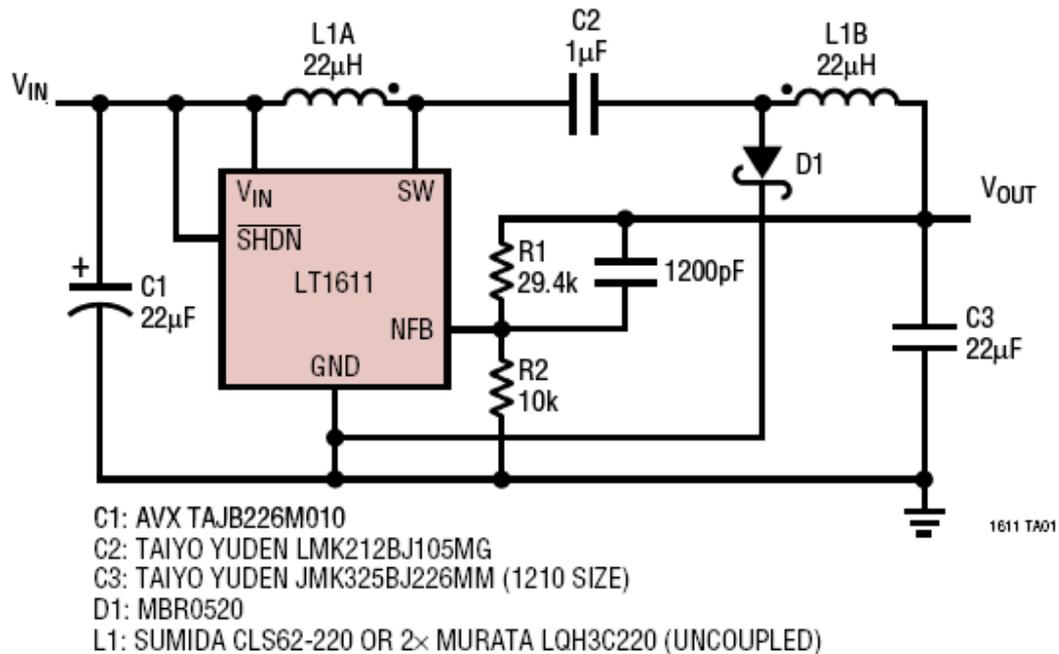


Figura 3.17 Circuito per la sezione a -6V

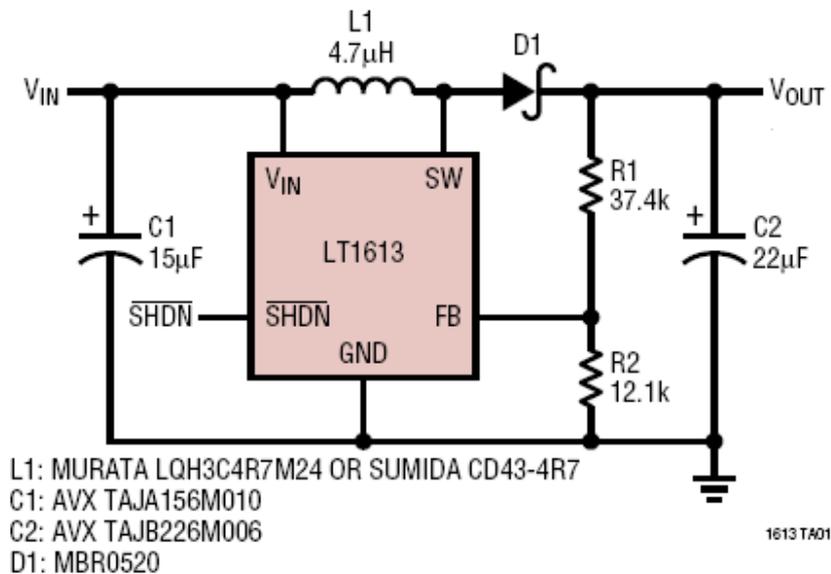


Figura 3.18 Circuito per la sezione a +6V

Per quanto riguarda il calcolo del partitore d'uscita, ci si basa sempre sulla formula

$$V_{out} = 1.23 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Per il circuito a +6V, mentre per il circuito a -6V la formula è la seguente

$$R_1 = \frac{|V_{out}| - 1.23}{\frac{1.23}{R_2} + (4.5 \cdot 10^{-6})}$$

I risultati ottenuti sono i seguenti:

- LT1611:       $R_1 = 14,3 \text{ k}\Omega$        $R_2 = 3,7 \text{ k}\Omega$
- LT1613:       $R_1 = 473 \text{ k}\Omega$        $R_2 = 121 \text{ k}\Omega$

Per quanto riguarda gli induttori e i condensatori, si sono seguite le specifiche riportate precedentemente. I modelli scelti sono i seguenti:

- |           |                         |        |                    |
|-----------|-------------------------|--------|--------------------|
| • LT1611: | $L_1 = 22 \mu\text{H}$  | Murata | LQH3C-220          |
|           | $C_1 = 22 \mu\text{F}$  | Murata | GRM055ER71E156KA01 |
|           | $C_2 = 22 \mu\text{F}$  | Murata | GRM033B11E102KA01B |
| • LT1613: | $L_1 = 4,7 \mu\text{H}$ | Murata | LQH3C-4r7          |
|           | $C_1 = 15 \mu\text{F}$  | Murata | GRM055ER71E156KA01 |
|           | $C_2 = 22 \mu\text{F}$  | Murata | GRM033B11E102KA01B |

Per quanto riguarda la disposizione nel PCB in modo da avere il miglior confinamento delle emissioni elettromagnetiche, per il LT1613 si ha questo:

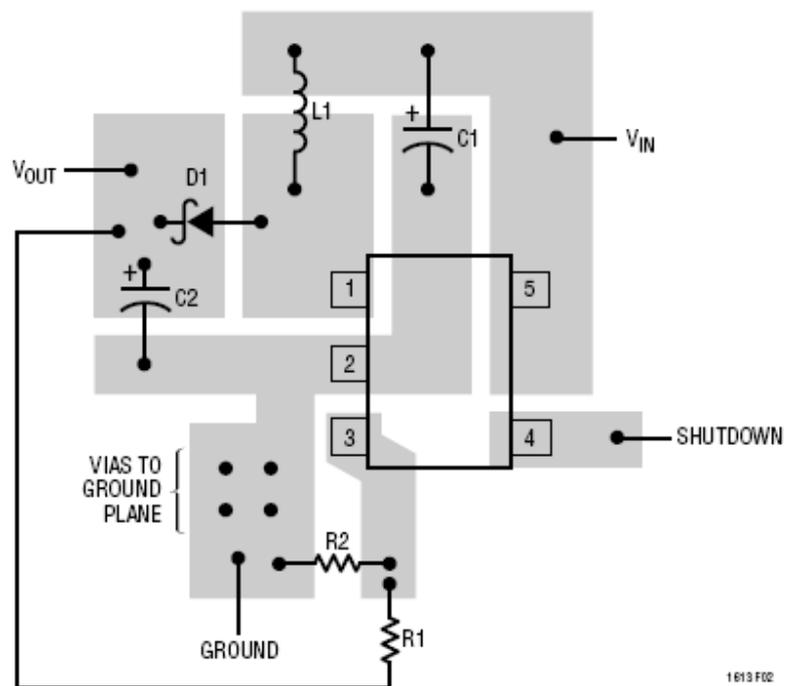


Figura 3.19 Rappresentazione del PCB per un'ottima schermatura delle emissioni elettromagnetiche

Mentre per il 1611:

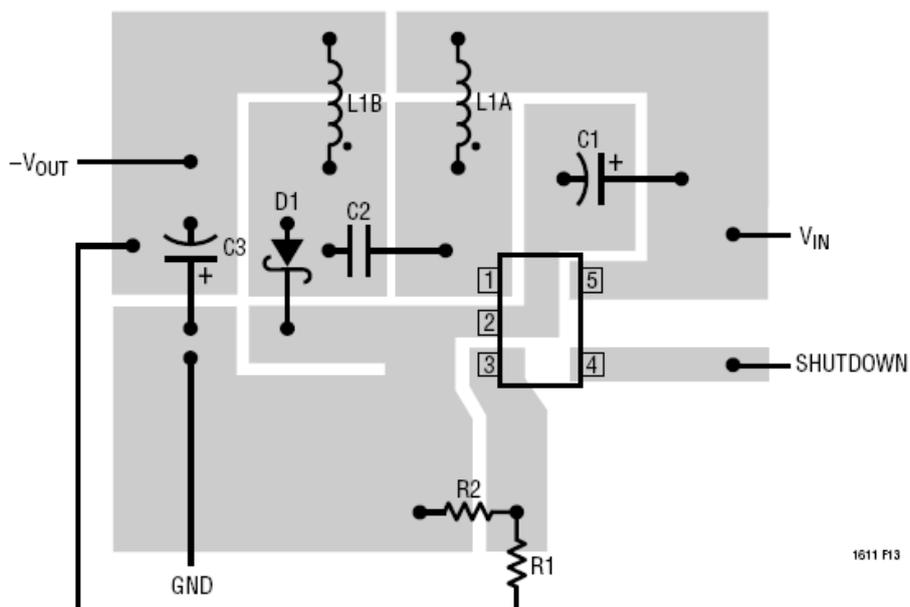


Figura 3.20 Rappresentazione del PCB per un'ottima schermatura delle emissioni elettromagnetiche

Dalle simulazioni abbiamo ottenuto i seguenti risultati:

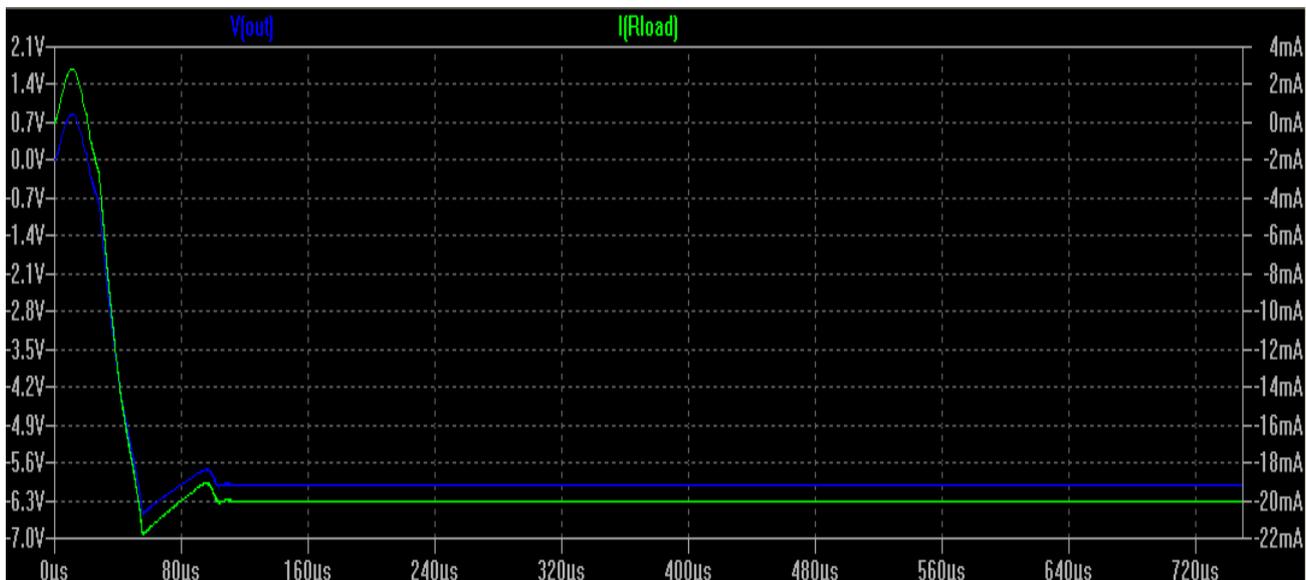


Figura 3.21 Simulazione per l'integrato LT1611 in condizioni di carico massimo

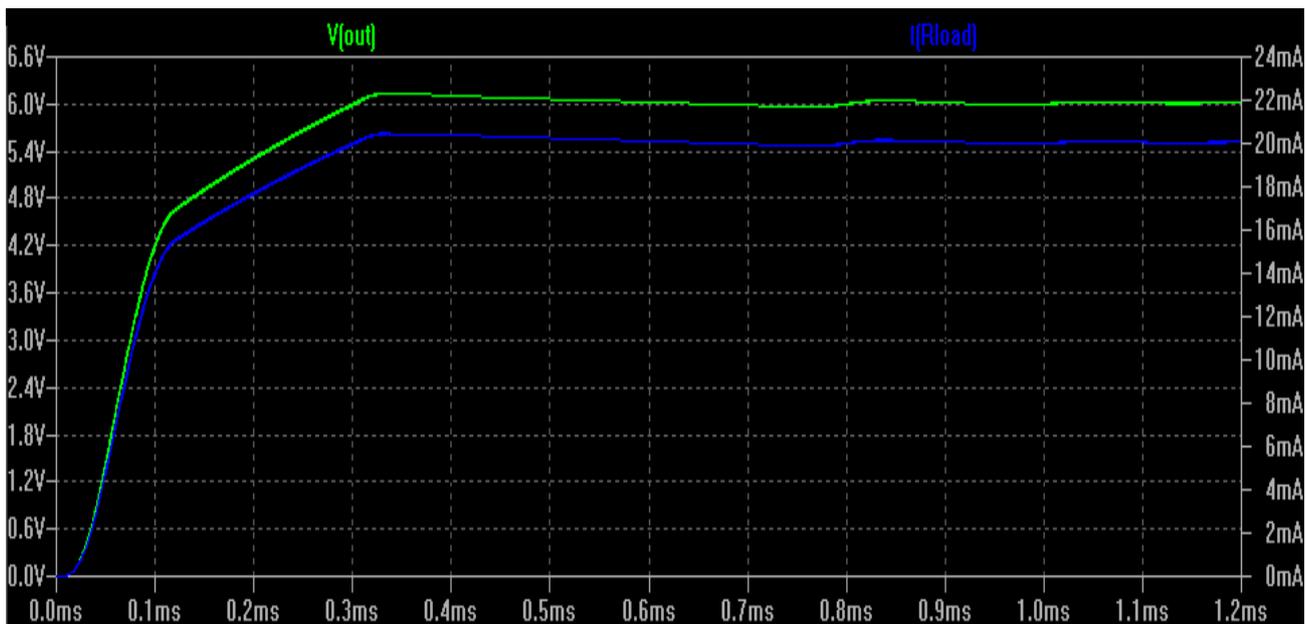


Figura 3.22 Simulazione per l'integrato LT1613 in condizioni di carico massimo

## 6. ALIMENTAZIONE A -100V

Per l'alimentazione della camera a deriva sono necessari, oltre ai 3,3 e ai  $\pm 6$ , anche un sistema capace di generare -100V a basso ripple. Questi sono necessari per la polarizzazione dei diodi presenti nello spettrofotometro. Unico limite per questa scelta è la tensione d'ingresso minima; infatti, questo integrato necessita di almeno 3 V come sorgente. Questo valore può venir fornito dall'alimentatore a 3,3 V LTC3530. Il circuito operativo del MAX1846 è:

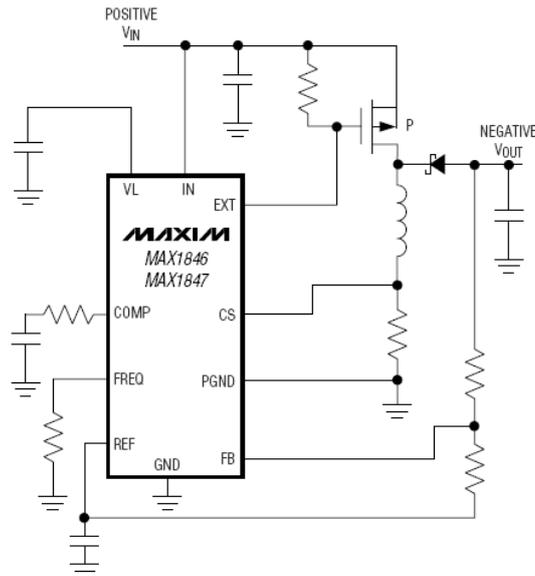


Figura 3.23 Circuito generale per l'integrato MAX1846

Il valore del partitore d'uscita può esser fissato in base alla semplice formula fornita nei datasheet

$$R_1 = R_2 \cdot \left( \frac{-V_{OUT}}{V_{REF}} \right)$$

Con  $V_{REF}$  pari a 1.25V. Volendo ottenere -100V in uscita, e fissando il valore di  $R_2$  pari a 10k $\Omega$ , si ottiene che sarà  $R_1$  pari a 800k $\Omega$ .

Questo sistema è attualmente in fase di sviluppo. Alcuni dubbi sono sorti dopo la prova di un componente analogo della ditta Maxim. Sarà forse necessario testare ulteriormente questo componente e, nel caso non risulti adatto, cercare un sostituto.

## 7. RESET MAGNETOMETRO

Il magnetometro necessita di un reset prima di ogni misura per quanto spiegato nel capitolo 1 al paragrafo 3.1. Questo reset non è altro che un impulso di corrente molto forte (3.2 A) per  $2\mu\text{s}$ . Il circuito adatto a generare tale impulso è il Maxim MAX662A. Questo componente non è altro che un regolatore a 12V che riesce a fornire in uscita un valore di corrente di 30mA. E' dotato di un controllo per lo spegnimento con corrente quiescente di  $0.5\mu\text{A}$ . Il circuito interno di questo componente è il seguente:

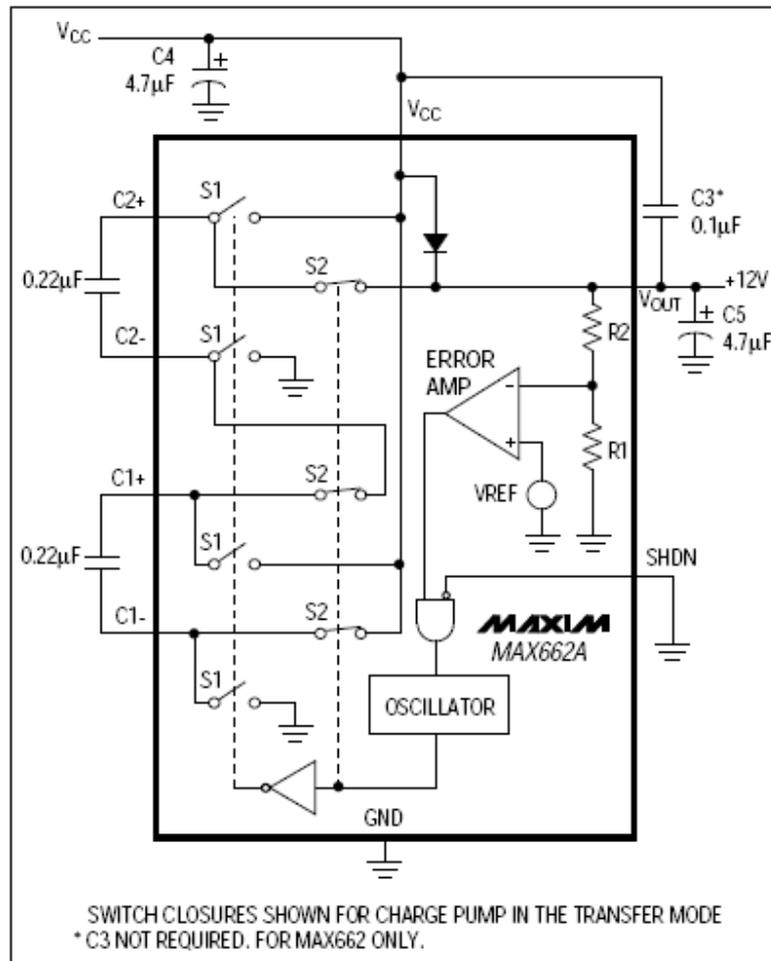
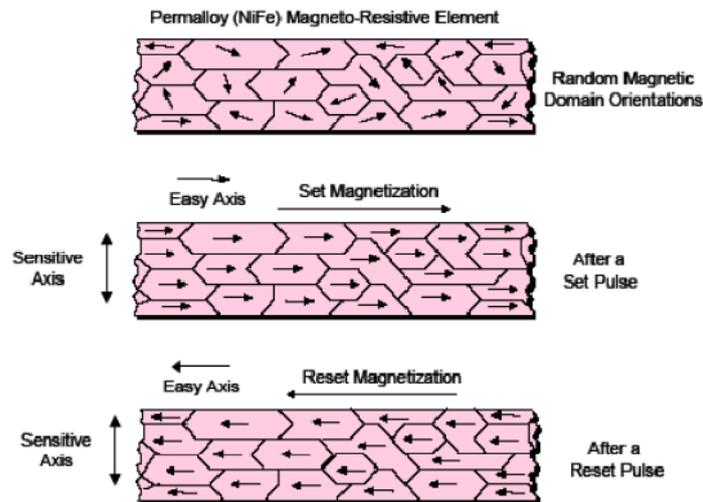
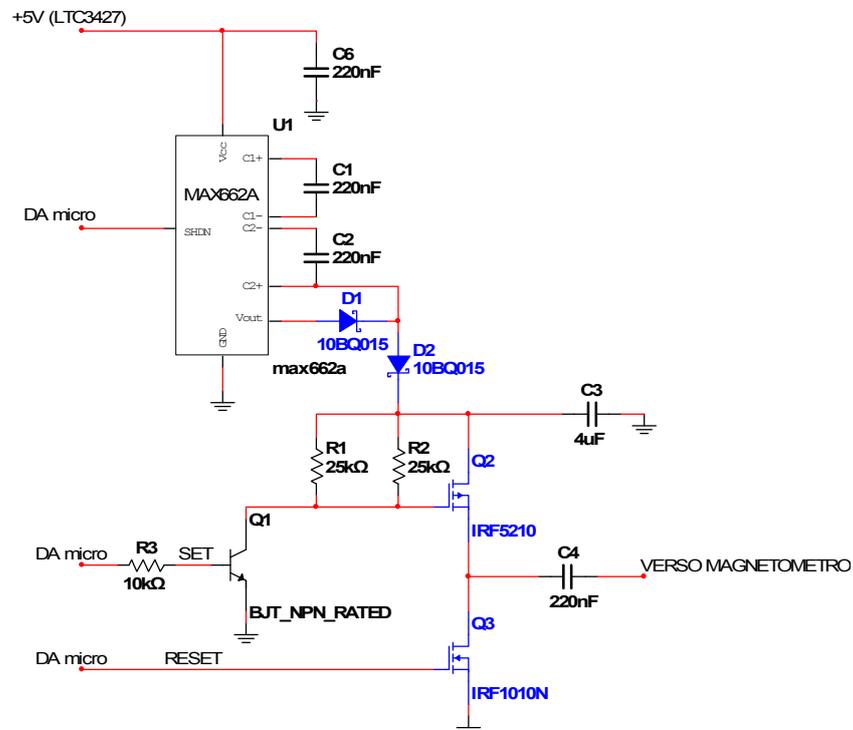


Figura 3.24 Circuito interno dell'integrato MAX1846

Il circuito necessario ai nostri scopi è una versione modificata di quello fornito nei datasheet, in quanto manca la componentistica necessaria a generare l'impulso di corrente. Questo impulso è composto, in verità, da 2 impulsi in sequenza: un impulso di set e uno di reset. La sequenza di questi riallinea i magneti del permalloy rendendo quindi possibile la misura.

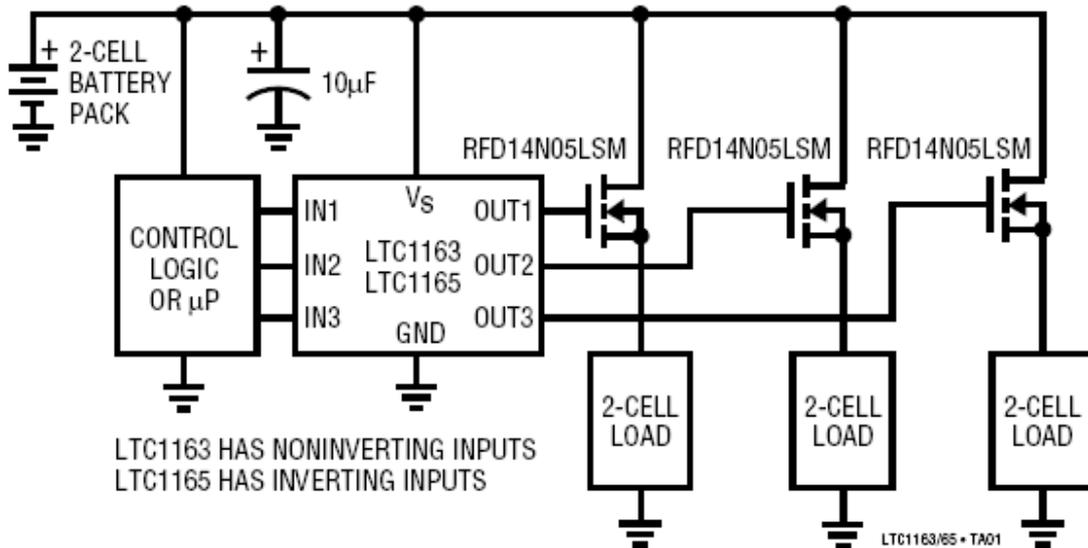


Il circuito completo per il reset del magnetometro è, quindi, il seguente:



## 8. CIRCUITO ATTIVAZIONE CARICHI

Visti i problemi di spazio che si sono riscontrati con le nuove modifiche e l'accorpamento in un unico alimentatore di più sistemi, si è reso necessario l'utilizzo di un integrato che possa selezionare il componente a cui fornire alimentazione. A questo scopo si è scelto l'integrato LTC1165 il cui circuito è il seguente:



**Figura 3.26** Circuito generale per l'integrato LTC1163

Come ingresso utilizza 3 pin IN1, IN2, IN3 il cui valori sono forniti dal µC. In base al valore verrà attivato il carico relativo e impiega dei Mosfet a canale N come interruttori. Come condensatore si può usare un:

C                      Murata                      GRM033B10J103KA01B                      10 µF,6.3V

## 8. CONCLUSIONI

Come fine ultimo di questo lavoro ci si è proposti la creazione del sistema completo necessario ad alimentare ogni parte di Atmocube, partendo dalla versione modificata del progetto fornito da Marco De Din. La sequenza delle fasi, seppur incompleta, è stata sviluppata in ogni aspetto fondamentale: partendo una valutazione del bilancio energetico e delle richieste strutturali, si è poi passati alla determinazione delle possibili configurazioni e alla scelta della soluzione ottima.

Le limitazioni inserite dalla nuova architettura hanno portato alla scelta di un'architettura semplice e abbastanza raccolta. Ogni singolo componente del blocco di alimentazione è stato sviluppato in ogni sua parte, ma vanno messi in luce alcuni aspetti fondamentali:

- L'amplificatore di potenza è uno degli elementi critici causa delle elevate potenze in gioco;
- Ogni componente a LOW-RIPPLE ha richiesto una cura molto elevata in quanto sono componenti delicati;
- Ogni blocco è controllato e abilitato da  $\mu C$
- E' stato realizzato un sistema di abilitazione a 3,3V e 5V per attivare, su richiesta del  $\mu C$ , i relativi alimentatori

L'ultima parte dello sviluppo del sistema di alimentazione ha riguardato la decisione di come realizzare il PCB per il satellite. In questa fase si è preso in considerazione delle problematiche relative agli elementi a commutazione: questi infatti sono fonte di forti disturbi elettromagnetici. La realizzazione pratica dei PCB non è stata effettuata per problemi sorti durante lo sviluppo delle specifiche. Questa fase verrà effettuata in seguito. In ogni caso sono state definite tutte le caratteristiche necessarie dei circuiti stampati in modo da limitare queste emissioni.

Attualmente in fase di studio sono da valutare:

- Analisi degli effetti delle radiazioni ad alta energia sui componenti
- Studio termico completo
- Definizione del sistema  $\mu C$  e dell'interfacciamento con Atmocube
- Collaudo dei blocchi del sistema di alimentazione;
- L'alimentazione necessaria alla camera a deriva per il suo funzionamento potrebbe essere ulteriormente aumentata.



## **APPENDICE:**

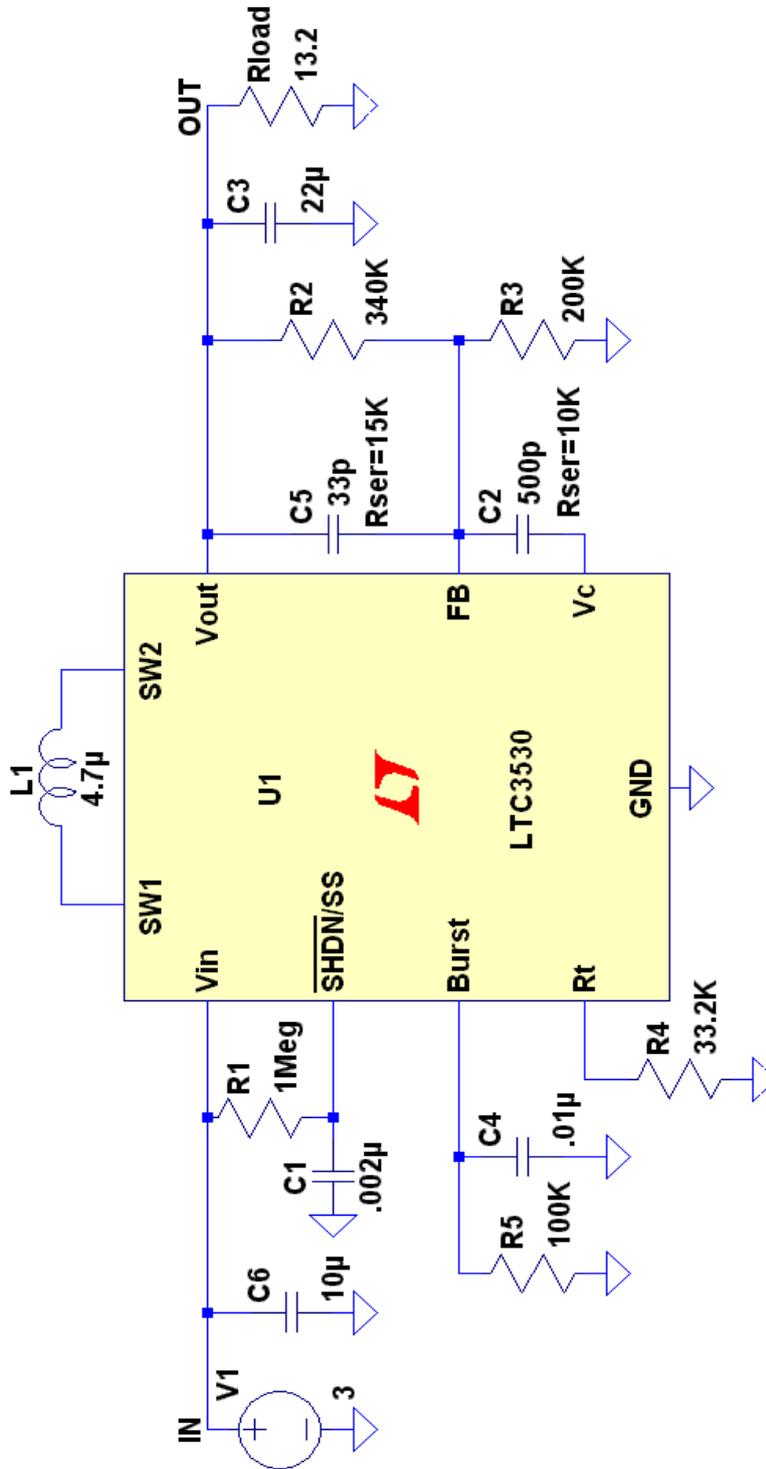
### **SISTEMA DI ALIMENTAZIONE**

In questa sezione verranno presentati i circuiti completi per il sistema di alimentazione di Atmocube.

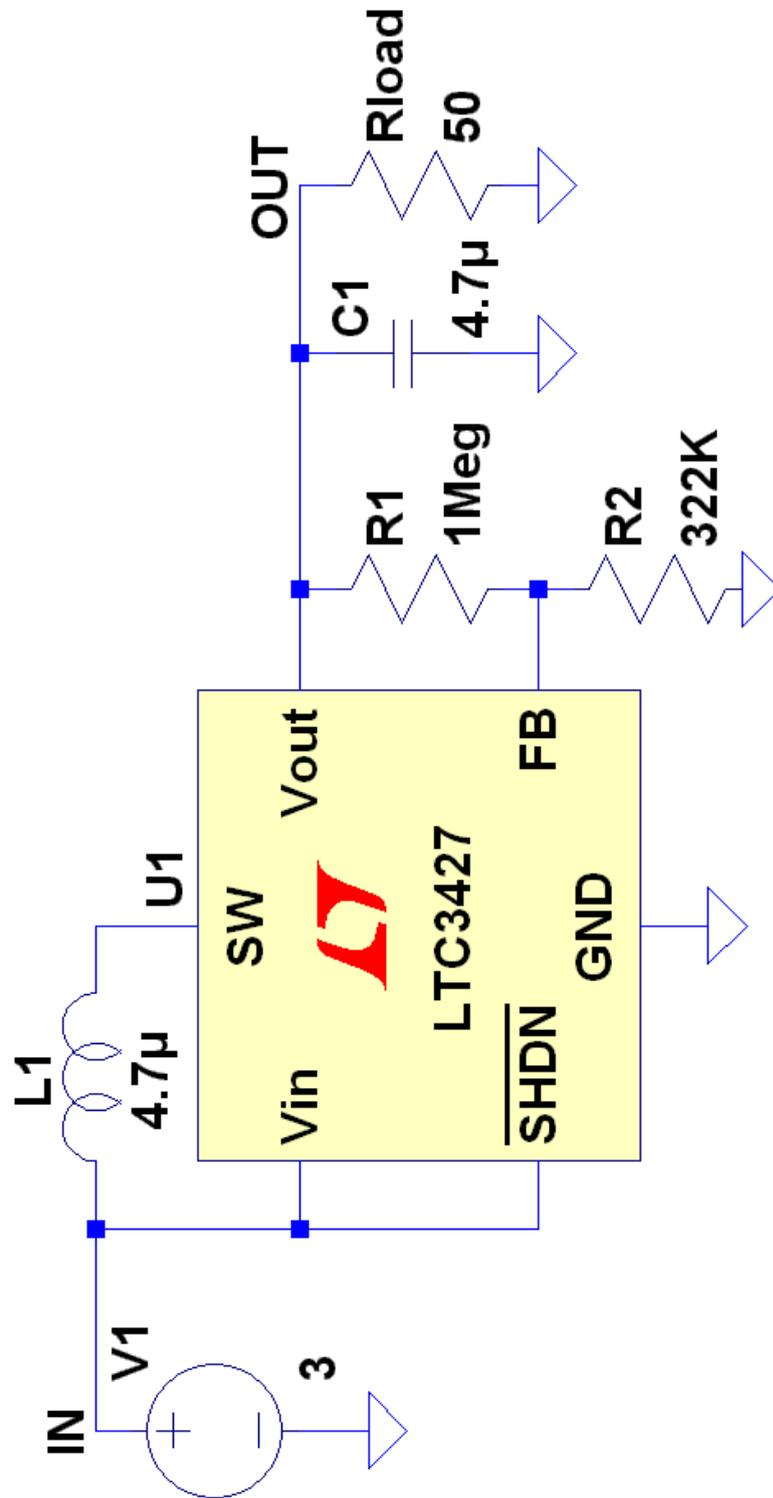
Ogni circuito è stato realizzato e valutato singolarmente in modo tale da ottenere il miglior rendimento possibile per il sistema.

Per ogni circuito sono stati dimensionati i componenti e simulate le condizioni di funzionamento in modo tale da verificare il loro funzionamento.

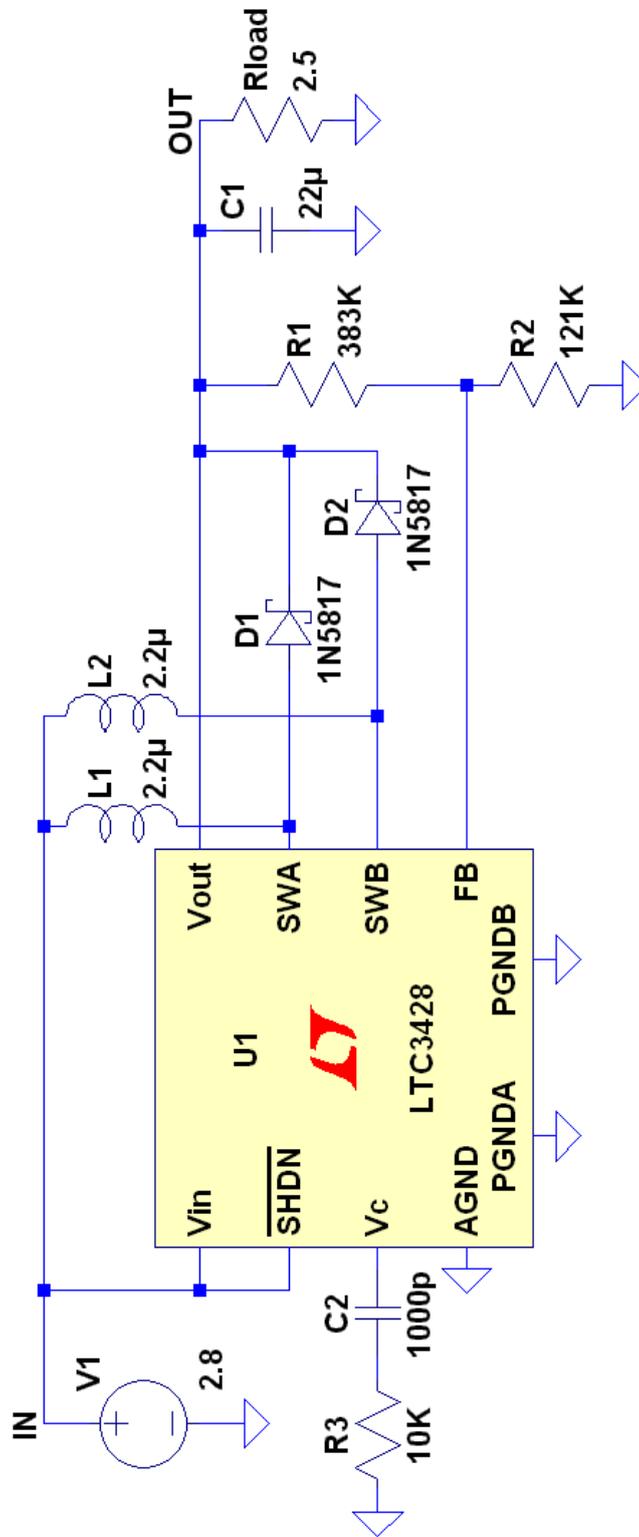
ALIMENTATORE LTC3530: SISTEMA 3,3 V



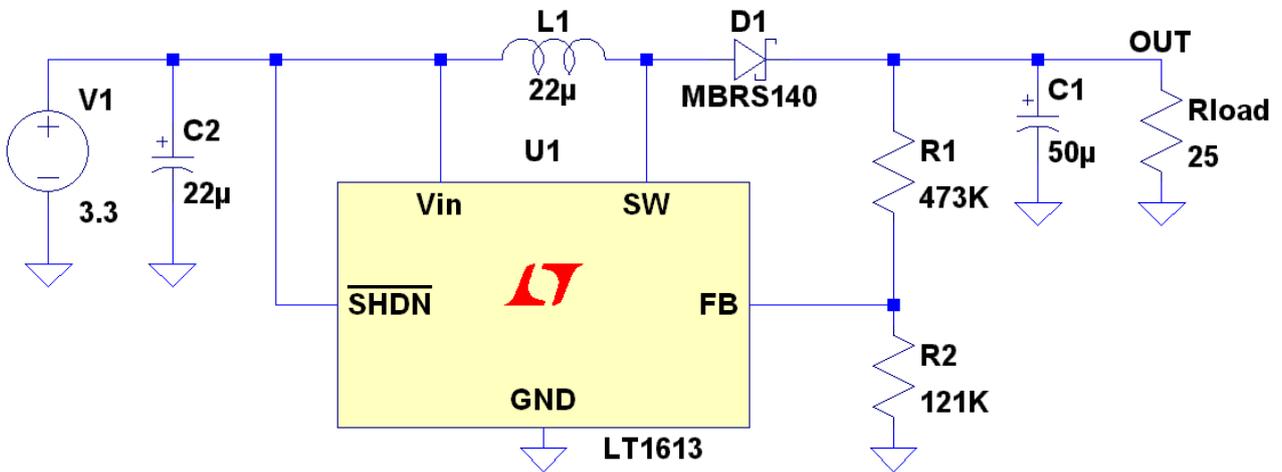
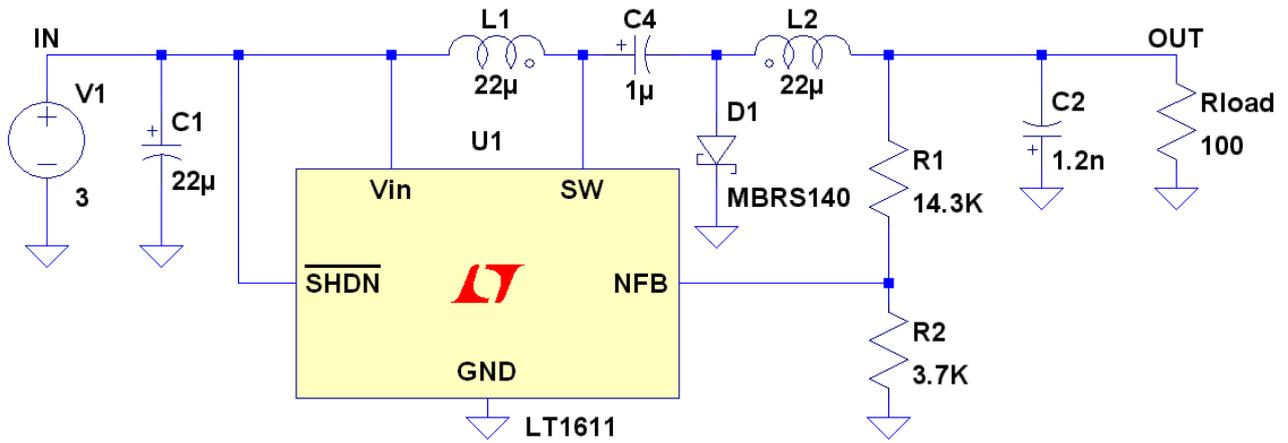
ALIMENTATORE LTC3437: SISTEMA 5 V



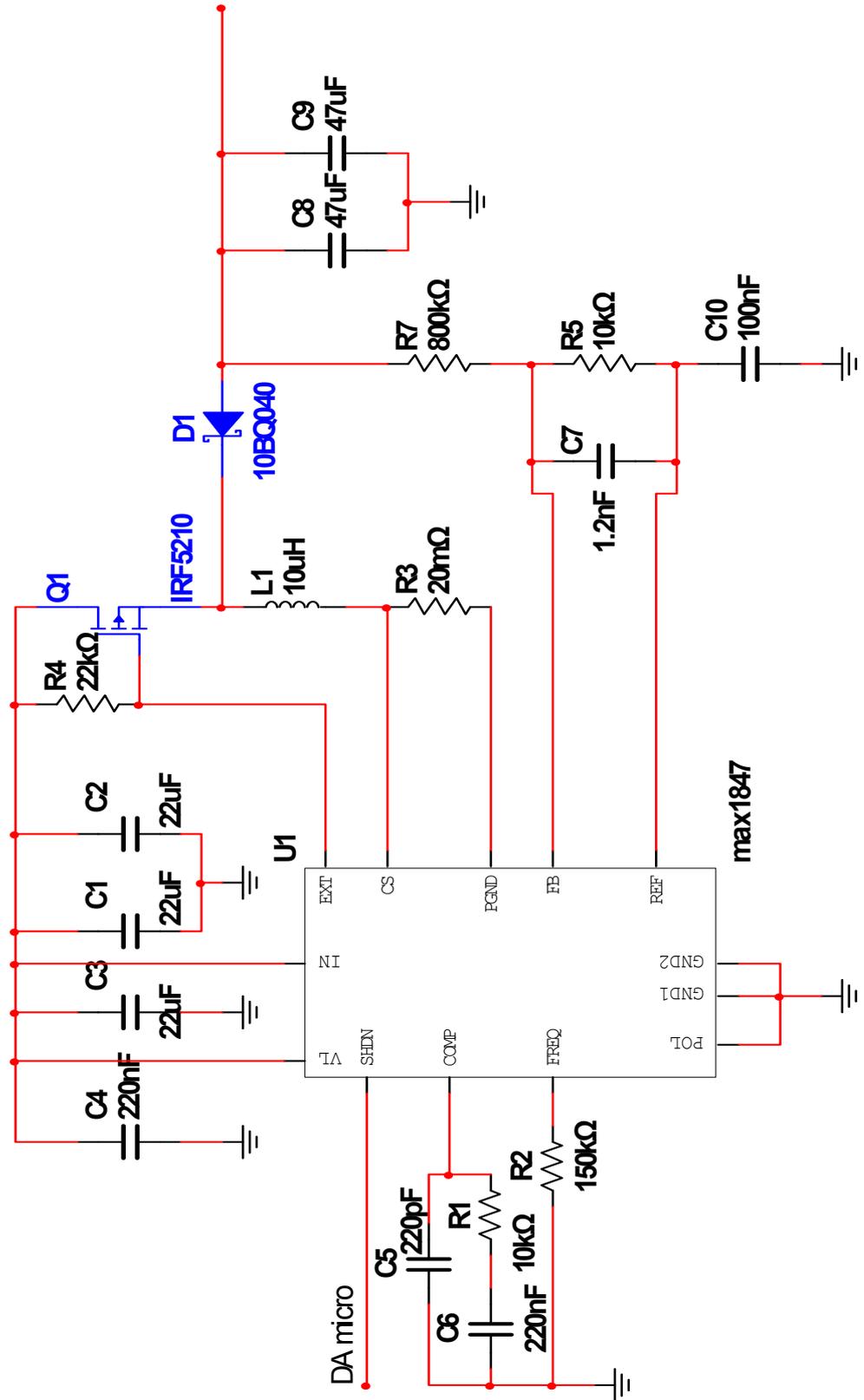
ALIMENTATORE LTC3428: SISTEMA 5 V ALTA POTENZA



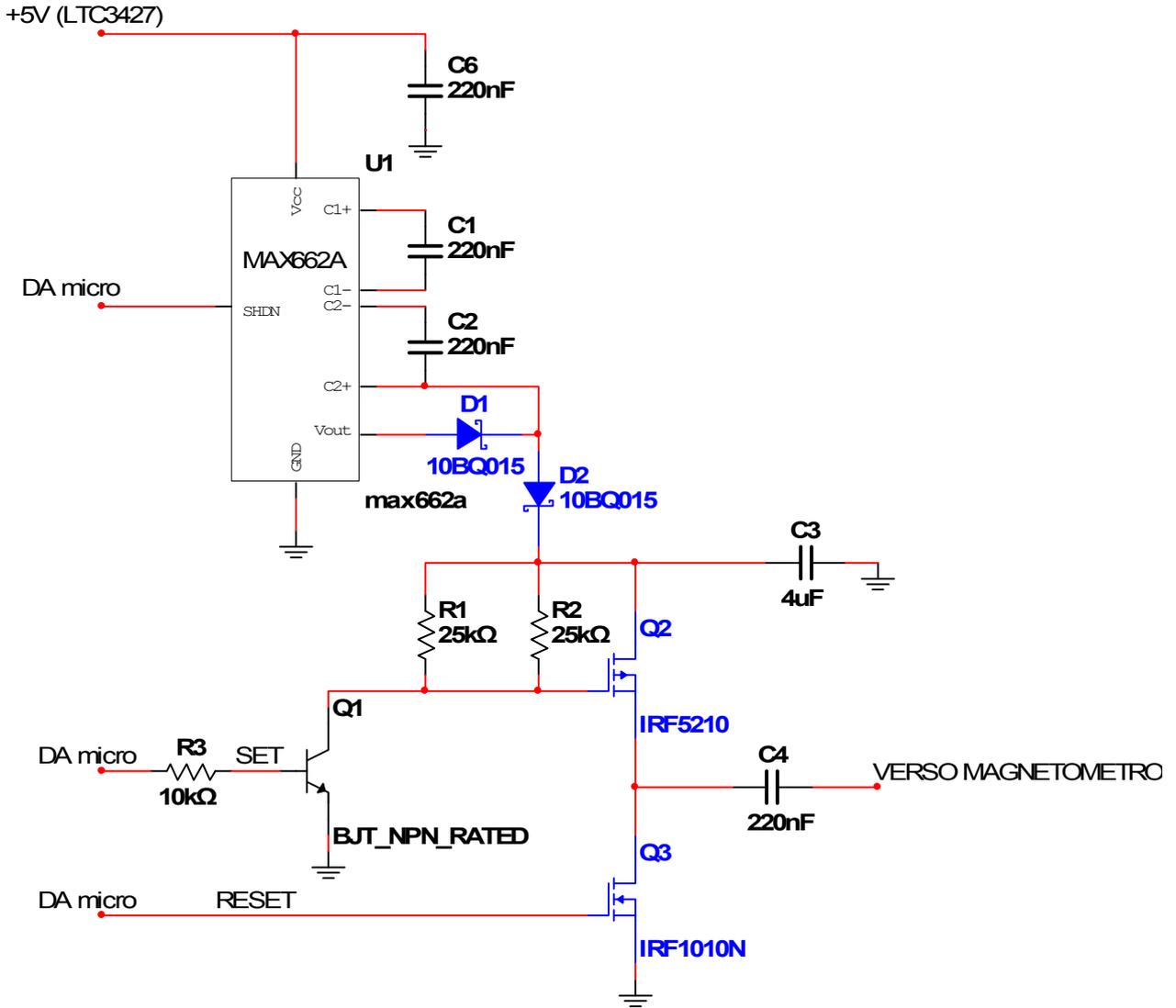
ALIMENTATORE LT1611-LT1613: SISTEMA +6/-6V



ALIMENTATORE MAX1846: SISTEMA -100V



ALIMENTATORE MAX662a: SISTEMA RESET MAGNETOMETRO



## BIBLIOGRAFIA:

- LINEAR TECHNOLOGY [www.linear.com](http://www.linear.com)
  
- MAMIX / DALLAS SEMICONDUCTORS [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com)
  
- MURATA MANUFACTURING [www.murata.com](http://www.murata.com)
  
- TOKO Inc. [www.toko.com](http://www.toko.com)
  
- Marco De Din      Progetto Preliminare di Gestione Energetica per il Satellite AtmoCube  
Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica Applicata AA 2004-2005
  
- Walter Caharija      Sistema di Alimentazione del Satellite AtmoCube  
Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica Applicata AA 2005-2006
  
- Atmocube Proposal for ESA

## **RINGRAZIAMENTI:**

In primo luogo vorrei ringraziare tutti quelli che mi sono stati vicini in questi momenti difficili; tutte le persone che, anche solo con la loro presenza, sono riuscite a darmi la forza di continuare fino alla fine e a non arrendermi ad un passo dalla conclusione.

Ringrazio il prof. Fragiacomò per aver creduto in me e avermi lasciato continuare questo progetto anche quando sembrava che non ci sarei riuscito. La ringrazio tanto professore per essermi stato vicino e avermi sostenuto anche quando, forse, non lo meritavo.

Ringrazio la Elcon Elettronica per il sostegno prestatomi. Ringrazio il sig. Generali per tutte le informazioni che mi ha dato e tutte le conoscenze che sono riuscito ad acquisire grazie a lui. Ringrazio inoltre Diego, Martina e Marco per il supporto e la compagnia che mi hanno fornito in tutti questi mesi passati in Area.

Ringrazio Sarah che con la sua forza è riuscita a risollevarmi dal momento più buio della mia vita e a spronarmi a scrivere questa tesi anche quando non avevo la minima voglia. Da quando sei entrata nella mia vita tutto è cambiato, la mia vita è migliore. Grazie tante di esser qua con me adesso, in questo momento della mia vita e, spero, anche in tutti quelli a seguire.

Ringrazio la mia famiglia per avermi dato la possibilità di dimostrare quello che valgo e per aver creduto, anche se non sempre, in me.

Ringrazio per ultimi, ma non per poca importanza, tutti i miei compagni di corso all'Università. Se non fosse stato per voi non so quanto avrei voluto continuare su questo cammino. Lo scherzare insieme, le cene, e gli altri momenti insieme mi hanno fatto star meglio quando ero solo.

Grazie a tutti.