UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



FACOLTA' DI INGEGNERIA DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DELL'ALIMENTATORE CON CONTROLLO AUTOMATICO DEI CARICHI PER IL SISTEMA SORA (SOUNDING RADAR)

Relatore Candidato

Ch.mo Prof. Ing. Dario Califano

Angelo Luciano matr. 45/4420

ANNO ACCADEMICO 2007/2008

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



FACOLTA' DI INGEGNERIA DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DELL'ALIMENTATORE CON CONTROLLO AUTOMATICO DEI CARICHI PER IL SISTEMA SORA (SOUNDING RADAR)

Relatore Candidato

Ch.mo Prof. Ing. Dario Califano

Angelo Luciano matr. 45/4420

ANNO ACCADEMICO 2007/2008

Ringraziamenti

Giunto alla fine di questo lungo percorso, desidero ringraziare tutte le persone che hanno contribuito al raggiungimento di un obiettivo importante della mia vita. Un grazie sincero al professore Angelo Luciano per il modo con cui ha accolto e accettato il mio progetto, lasciandomi scegliere liberamente il percorso da seguire e consigliandomi con parole sempre illuminanti. Grazie all'ing. Vincenzo Priore che ha messo a mia disposizione la sua professionalità, seguendo con scrupolo e altissima competenza il lavoro riportato in questo testo di tesi. Grazie all'ing. Gianfranco Palmese che mi ha guidato all'interno del laboratorio del Co.Ri.S.T.A., mostrandomi, con fare pacato e amichevole, il lavoro da svolgere. Grazie a tutto lo staff del consorzio Co.Ri.S.T.A., in particolare a: Claudio, Gianni, Giulia, Maria Rosaria, Luca, Gianni A. Grazie di vero cuore ad Enzo Priore, per tutti i consigli fraterni e la disponibilità avuta nei miei confronti non solo negli ultimi mesi. Grazie a Tina ed Annalisa Priore per avermi accolto, nelle ore più insolite, nella loro casa sempre col sorriso. Grazie a Giuseppe Macchiaroli per le innumerevoli giornate di studio passate insieme. Grazie ad Antonio De Lucia, per i giorni di studio e per tutti i consigli di vita. Grazie a Luca e Laura per i bei momenti passati all'università tra corsi, studio ed esami. Grazie a mio zio Franco ed agli innumerevoli spostamenti fatti nel suo colorificio, sono stati per me un'ottima nave scuola. Grazie a tutti i ragazzi della palestra, in particolare a: Grazia, Girolamo, Tiziana, Nicola, Sofia, la sig. Pina, don Peppe, che, dimostrandosi veri amici, mi hanno sostenuto in questi anni. Grazie ai miei amici di sempre: ad Antonio, che più di tutti ha creduto in me, a Stefania, Gerardo, Tania, Andrea, Alberto e Raffaele. Grazie a Licia e Federico, per avermi sopportato, soprattutto negli ultimi tempi, ascoltandomi quando avevo bisogno di parlare. Un ringraziamento particolare a Maria Rosaria per tutto l'affetto ed il supporto che mi ha dato fin dai primi giorni della nostra amicizia, non potrei immaginare amica migliore. Grazie a mia madre e mio padre, per tutto! Hanno lasciato che facessi i miei errori sostenendomi ed incoraggiandomi, confermandosi un punto di riferimento essenziale. Grazie al mio piccolo Andrea, che tutti i giorni, con uno sguardo dolce ed un sorriso sincero, riempie la mia vita. Infine, un ultimo ringraziamento per chi mi osserva con occhi materni da lontano, vegliando su di me come sempre ha fatto nella vita, sperando che in questo momento possa sentirsi fiera di me.

Indice

| Capitolo 1: | Progetto | | |
|-------------|--|--|--|
| 1.1 | Progetto SORA1-1 | | |
| 1.2 | Power Distribution Unit di SORA1-10 | | |
| 1.3 | Specifiche di progetto | | |
| 1.4 | Il Sistema1-17 | | |
| Capitolo 2: | Stato dell'arte e Cenni teorici | | |
| 2.1 | Alimentatori controllati2-1 | | |
| 2.2 | DC/DC converter | | |
| 2.3 | Microcontrollori | | |
| 2.4 | Protocollo di comunicazione RS2322-41 | | |
| 2.5 | Sistemi di controllo | | |
| 2.6 | Sistemi e sensori di misura | | |
| 2.7 | Stato dell'arte | | |
| | 2.7.1 DC/DC converter | | |
| | 2.7.2 Microcontrollori 2-104 | | |
| | 2.7.3 Sensori | | |
| Capitolo 3: | Progetto Hardware | | |
| 3.1 | Schema Elettrico3-1 | | |
| 3.2 | Scelta dei Componenti | | |
| 3.3 | Realizzazione Circuito Stampato3-70 | | |
| Capitolo 4: | Progetto Firmware | | |
| 4.1 | Diagramma a Blocchi del Software di controllo4-1 | | |
| 4.2 | Codifica 4-32 | | |
| 4.1 | Testing4-72 | | |

| Capitolo 5: | Collaudo | |
|-------------|-----------------------|-------|
| 5.1 | Strumenti di collaudo | . 5-1 |
| 5.2 | Procedura di collaudo | . 5-7 |
| Appendice . | A: Datasheet | |
| | Lista dei datasheet | A-1 |
| Appendice 2 | B: Approfondimenti | |
| B.1 | Direttiva RoHS | B-1 |
| B.2 | Tabelle di calcolo | B-3 |
| BIBLIOGRA | FIA | |
| RIFERIMEN | TI WEB | |

CAPITOLO 1

PROGETTO

1.1 Progetto SORA

SORA, <u>So</u>unding <u>Ra</u>dar, è parte integrante di un programma di test dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) che mira allo sviluppo di tecnologie atte a migliorare la comprensione della risposta dei radar a bassa frequenza (sub-sounder). Nell'ambito dell'esperimento SORA, l'attenzione è focalizzata sullo studio di lastre di ghiaccio e superfici innevate, oltre all'ispezione di mari ghiacciati. L'idea è quella di mettere a punto un radar a bassa frequenza da utilizzare a bordo di palloni stratosferici, soprattutto dopo il successo delle recenti missioni su Marte, che hanno confermato le potenzialità dei radar a bassa frequenza per lo studio del sottosuolo dei pianeti, specialmente in presenza di strati ghiacciati.

SORA è composto da un pallone stratosferico trasportante una gondola, sulla quale è alloggiato il sistema radar che acquisirà i dati dell'esperimento (fig. 1-1).

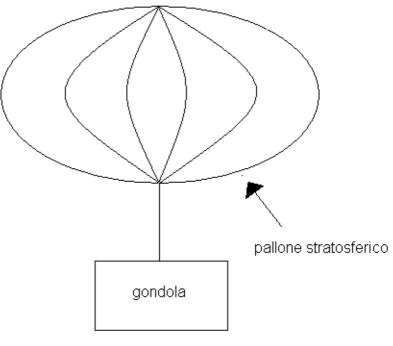
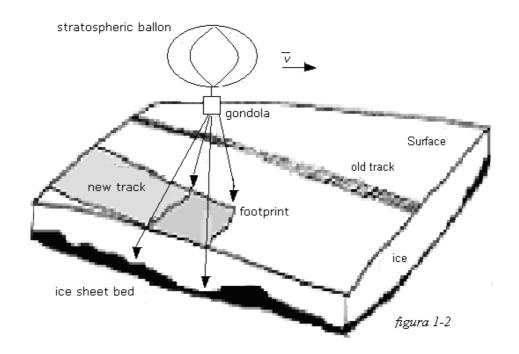


figura 1-1

La scelta di utilizzare un pallone stratosferico, rispetto alla comune tendenza di adoperare aerei o satelliti per questo genere di misurazioni, deriva dal fatto che il pallone offre migliori prestazioni sotto tutti i punti di vista, migliore copertura del territorio, migliore risoluzione e costi più contenuti. Nella figura 1-2 si riporta quella che è l'idea della missione.



Il pallone sarà lanciato dalle isole Svalbard, Norvegia, dove è situata una base italiana, che fornirà un supporto logistico fondamentale per la riuscita della missione. SORA circumnavigherà l'Artico volando su Greenland, l'arcipelago Artico canadese, New Zelmya e la stessa Spitsbergen. Il volo avrà un'altitudine di circa 35000m, con una velocità di circa 15m/s e durerà una settimana. La simulazione della traiettoria del volo del pallone mostra una forma circolare che prevede un'area di atterraggio con un raggio di circa 100Km dalla base di lancio. Il pallone seguirà la circolazione dei venti di alta quota e, attraversando il continente ghiacciato, acquisirà dati di grande interesse scientifico. Le condizioni climatiche che SORA incontrerà durante il suo viaggio, non saranno delle più agevoli, perché trovasi nella stratosfera, con un range di temperatura

che varia tra -55°C e 0°C ed un range di pressione tra 300mb a pochi mb, tutti parametri che condizioneranno sia la struttura della gondola che la scelta dei componenti elettronici. L'obiettivo principale dell'esperimento è la calibrazione degli strumenti hardware e software, la validazione degli algoritmi di inversione adottati nei radar a penetrazione per esplorazione planetaria. I dati acquisiti durante il sorvolo di superfici glaciali a struttura conosciuta fungeranno da riferimento per un processo di messa a punto e ulteriore sviluppo dei radar, in condizioni molto vicine a quelle operative. Contestualmente, sarà possibile approfondire la conoscenza, dal punto di vista geomorfologico, delle aree polari coperte da ghiacci, del permafrost, delle rocce plutoniche e sedimentarie presenti nel sottosuolo fino a qualche chilometro di profondità e con risoluzione fino a 15 metri. La vasta gamma di investigazioni consentite dalla tecnologia di ispezione del sottosuolo mediante radar apre la strada a numerose ulteriori applicazioni su voli con palloni stratosferici, come quelli in fase di studio su aree desertiche in zone equatoriali o in Antartico. La realizzazione dell'intero progetto è stata affidata al Co.Ri.S.T.A., Consorzio di Ricerca Su Telesensori Avanzati, in base all'esperienze pregresse del consorzio nell'ambito delle realizzazioni di radar a bassa frequenza, come, ad esempio, il sistema MINISAR. Il Co.Ri.S.T.A. si occuperà delle seguenti attività:

- Analisi scientifica e sperimentale.
- Analisi delle specifiche strutturali della gondola con relativa realizzazione.
- Definizione del sistema di bordo.
- Progettazione dell'architettura di bordo.
- Sviluppo del sistema.
- Installazione del sistema.
- Supporto tecnico durante la fase di lancio, volo e recupero.
- Data processing.

L'architettura generale di SORA può essere divisa in due blocchi:

- 1. Gondola.
- 2. Radar SORA.

Sulla gondola verranno sistemate tutte le apparecchiature necessarie al corretto funzionamento del radar, tipo batterie, oltre allo sterro radar. Tra i sistemi più importanti, si sottolinea la presenza della CDMU che rappresenta un vero e proprio computer di bordo, che si occupa di comunicare con l'esterno ed il radar stesso, provvedendo ad inviare i comandi di accensione e spegnimento.

E' lecito considerare il radar SORA costituito da tre sottosistemi, ognuno dei quali svolge una funzione specifica.

- Sottosistema RF.
- Sottosistema Digitale e PC di bordo.
- Sottosistema Power Supply.

GONDOLA

TTL

PDU

RF

DC

Power

SER3

SER4

DC

Power

DC

Power

DC

Power

DC

Power

DC

Power

DC

Power

Nella figura 1-3 è riportato lo schema a blocchi dell'intera struttura.

figura 1-3

A questo punto si può approfondire la conoscenza dei vari sottosistemi.

Il sottosistema RF si occupa principalmente della generazione e ricezione del segnale radar, interfacciandosi con l'antenna. E' composto da:

• *CGU*: Chirp Generation Unit, che viene comandato attraverso opportuni segnali di controllo e genera in uscita un segnale chirp, usato come impulso radar. Esso è basato su tecnologia DDS e produce uno sweep in frequenza tra 158 e 168 MHz in 3 μs.

- *FGU*: Frequency Generator Unit, che è il cuore del sistema. Genera i segnali ad alta frequenza che vengono utilizzati dal sottosistema CGU e i vari clock utili alla Digital unit.
- Rx-Tx: Il sottosistema TX ha il compito di amplificare il segnale in alta frequenza, generato dalla CGU, in maniera da poter ottenere, sull'eco radar, un rapporto segnale rumore (SNR) sufficiente per gli scopi che il sistema si prefigge. Esso è quindi composto da una serie di amplificatori e filtri atti a pilotare in maniera opportuna l'amplificatore finale RF. Il sistema Rx è costituito da una serie di amplificatori e filtri in cascata. Il segnale ricevuto dall'antenna, viene amplificato dall'LNA, low noise amplifier, filtrato per eliminarne le componenti spurie ed, infine, nuovamente amplificato per adeguarne il livello a quello richiesto dal campionatore.
- Amplificatore RF: permette di amplificare il segnale generato dalla CGU e trattato dalla Tx unit e di inviarlo all'antenna attraverso lo switch RF. Per ottimizzare i consumi è stato scelto un amplificatore capace di erogare in antenna circa 150W con funzionamento in modalità pulsata. Questa soluzione permette di aumentare l'efficienza dell'intero sistema. Infatti l'amplificatore richiede una corrente di funzionamento in stand-by di circa 2A a 24V, con picchi pari a 12A per un tempo di 300 μs.
- Switch RF: serve per commutare l'antenna sia in ricezione che in trasmissione. Esso è realizzato con tecnologia a diodi pin che assicurano alta efficienza ed elevata velocità di commutazione e gestione di grosse potenze RF.
- Antenna.

Il sottosistema digitale e PC di bordo si occupa dell'acquisizione dei dati mediante il PC di bordo oltre alla temporizzazione e sincronizzazione dei vari sottosistemi costituenti SORA. Questo sottosistema è composto da:

- PC di bordo: gestisce i vari comandi del radar e si interfaccia con il PC di bordo della gondola. Suo compito fondamentale è il salvataggio dei dati acquisiti. Esso è realizzato con un mini ETX embedded con hard disk a stato solido e poi è stato allocato in un apposito case per il fissaggio dei vari componenti, al fine di ottimizzare lo spazio all'interno del contenitore dell'intero radar e rispondere, al meglio, alle sollecitazioni di tipo meccanico che il sistema dovrà affrontare. Del sistema PC di bordo fa anche parte una particolare scheda alloggiata su bus PCI che permette il DATA STORAGE veloce.
- Digital Unit: si occupa di vari aspetti. Effettua un campionamento del segnale RF di ritorno dall'antenna dopo che questo è stato amplificato e filtrato dal sistema Rx. I dati digitali sono manipolati e compattati per essere trasferiti al sistema di DATA STORAGE, insieme ai dati relativi alla posizione e all'assetto del pallone. Gestisce logicamente la tempificazione del sistema, ad esempio, comanda l'accensione del chirp e quella del sistema TX, decide gli istanti di campionamento del segnale ricevuto e controlla il sistema di navigazione inerziale. Esso inoltre permette di cambiare la configurazione operativa del radar SORA.

Il sottosistema Power Supply è un alimentatore controllato che fornisce l'alimentazione a tutti i dispositivi costituenti SORA. Il sistema è gestito da un microcontrollore che governa l'alimentazione degli utilizzatori e ne acquisisce lo stato di funzionamento, offrendo la possibilità di effettuare un controllo automatico di tensioni e correnti di alimentazione, segnalando, mediante il dialogo con un PC esterno attraverso una comunicazione seriale di tipo RS232, le operazioni effettuate. E' possibile disinserire il controllo automatico e scegliere di effettuare le operazioni di controllo da terra, mediante

un operatore, che, a seguito di richiesta di telemetria di bordo, invierà gli opportuni comandi di accensione o spegnimento.

Il tutto è riassunto mediante il seguente diagramma a blocchi (fig. 1-4).

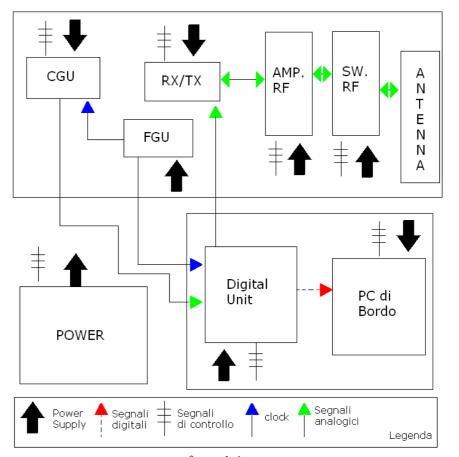


figura 1-4

La struttura generale si presenterà come in figura 1-5.

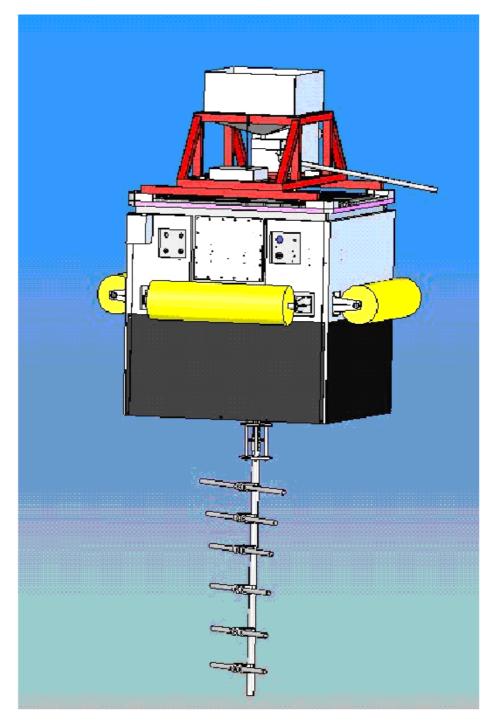


figura 1**-**5

1.2 Power Distribution Unit di SORA

Descrizione generale del progetto

Nell'ambito del progetto SORA, nel seguente lavoro di tesi, sarà realizzata la Power Distribution Unit. Come accennato nel paragrafo 1.1, la PDU è l'unità che si occupa dell'alimentazione dell'intero sistema radar. La PDU di SORA è un sistema basato su DC/DC converter in tecnologia switching, gestito da un microcontrollore. Mediante l'utilizzo di trasduttori di corrente e di tensione, il microcontrollore acquisirà i valori di tensione e di corrente, trasmessi dai trasduttori al convertitore analogico digitale, monitorando continuamente lo stato dei carichi, provvedendo ad inibire l'erogazione di potenza, qualora si dovessero verificare delle anomalie, proteggendo, in questo modo, sia la PDU che gli stessi carichi. Si potrà scegliere di non effettuare il controllo automatico, affidando la gestione ad un operatore a terra, che elaborerà questi dati e provvederà a generare i comandi di inibizione oppure attivazione dell'erogazione di potenza di ciascun carico. Da terra, inoltre, si potranno disattivare alcuni carichi, qualora non fosse necessario tenerli accesi, in modo da migliorare il rendimento delle batterie, evitando sprechi di energia durante la fase di decollo e raggiungimento dei primi ghiacci. Il sistema gestirà la comunicazione con l'esterno mediante un'unità che implementerà il protocollo RS232. Il sistema PDU sarà composto, alla luce di quanto detto, da tre sottosistemi: quello di potenza, di misura e di controllo. Nel sottosistema di potenza saranno allocati tutti i dispositivi necessari alla conversione, uno per ogni carico, e gli organi di interruzione, in modo da poter controllare singolarmente tutte le alimentazioni e poter fornire un prodotto versatile e quindi più propenso a sviluppi futuri. Nel sottosistema di misura, verranno inseriti dei trasduttori di corrente e tensione, i quali forniranno la misura delle tensioni e correnti che interessa monitorare. Il sottosistema di controllo sarà il cuore della PDU, esso, mediante l'utilizzo di un microcontrollore, andrà a gestire tutte le situazioni di anomalia e non che il sistema potrebbe incontrare.

Uno schema a blocchi generale dei tre sottosistemi è il seguente, (fig. 1-6):

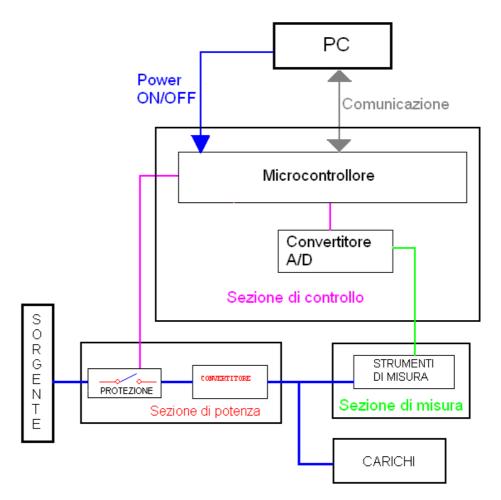


figura 1**-**6

Metodologia di progetto

I passi da seguire nella realizzazione della PDU di SORA sono successivamente riportati:

- 1. Definizione dei dispositivi necessari.
- 2. Definizione della architettura.
- 3. Sviluppo.
- 4. Realizzazione.
- 5. Sistemazione a bordo della gondola.

Il primo passo è l'individuazione di una struttura a blocchi che riassuma le caratteristiche del sistema (fig.1-7), in modo da fornire un approccio sistemistico alla realizzazione dell'intero progetto.

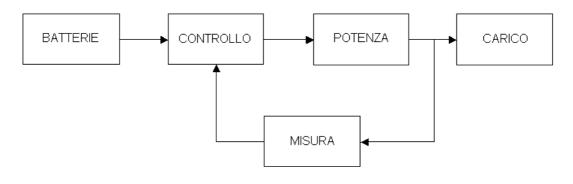


figura 1-7

Un'ulteriore evoluzione del progetto comporta la particolarizzazione di alcuni processi, passaggio fondamentale per avere una più chiara visione sia del sistema che dei dispositivi da impiegare, come lo sviluppo della funzione di controllo e di protezione. Il controllo si realizza mediante un confronto tra il valore misurato e quello aspettato; il conseguente risultato, genera, poi, il comando di protezione. Il tutto è visibile nella figura 1-8.

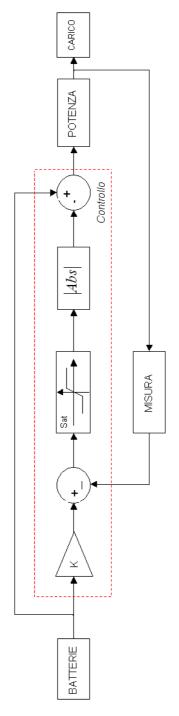


figura 1-8

Gli schemi a blocchi riportati nelle figure 1-7 e 1-8 costituiscono le basi di tutto il progetto, successivamente, prendendo atto delle specifiche di progetto, si potrà meglio sviluppare il sistema e procedere con l'individuazione dei dispositivi e la realizzazione.

1.3 SPECIFICHE DI PROGETTO

Descrizione del sistema e delle condizioni ambientali

SORA è un sistema radar SAR operante in banda VHF, che deve sorvolare il Polo Nord per un periodo di una settimana.

Il sistema è alloggiato su un pallone stratosferico da alta quota e deve acquisire dati inerenti lo spessore dei ghiacci.

Le condizioni climatiche impongono che il sistema deve essere allocato in un contenitore a tenuta stagna, termostatato e pressurizzato secondo standard Industriale (Gondola).

Oggetto di tale specifica è il sottosistema P.D.U. (Power Device Unit) che ha il compito di fornire e controllare l'alimentazione ai vari carichi e di acquisire informazioni sulla telemetria di bordo.

Il sistema PDU comunica con il PC di bordo utilizzando una comunicazione seriale di tipo RS232.

Descrizione dei carichi

• <u>Pc di bordo</u>:

- Deve gestire i comandi del radar e deve interfacciarsi con il PC di bordo della gondola.
- Deve effettuare il salvataggio dei dati acquisiti.
- Deve essere realizzato con un mini ETX embedded con hard disk a stato solido.
- Deve essere allocato in apposito case per il fissaggio dei vari componenti al fine di ottimizzare lo spazio all'interno del contenitore dell'intero radar e

rispondere al meglio alle sollecitazioni di tipo meccanico che il sistema dovrà affrontare.

Deve contenere una scheda per il DATA STORAGE veloce.

• Amplificatore RF:

- Deve permettere di amplificare il segnale generato dalla CGU e trattato dalla
 Tx unit, inviandolo all'antenna attraverso lo switch RF.
- Deve erogare in antenna circa 150W con funzionamento in modalità pulsata.

• <u>CGU</u> (Chirp Generation Unit):

- Deve generare un segnale chirp, che viene usato come impulso radar.
- Deve generare uno sweep in frequenza tra 158 e 168 MHz in 3 μs.

• <u>FGU</u>: Frequency Generator Unit:

- Deve generare i segnali ad alta frequenza che vengono utilizzati dal sottosistema CGU.
- Deve generare i clock utili alla Digital unit.

• <u>Digital Unit</u>:

- Deve effettuare un campionamento del segnale RF di ritorno dall'antenna,
 dopo che questo è stato amplificato e filtrato dal sistema Rx.
- Deve condizionare e compattare i dati per essere trasferiti al sistema di DATA STORAGE.
- Deve permettere di cambiare la configurazione operativa del radar SORA.

• Switch RF:

• Deve commutare l'antenna sia in ricezione che in trasmissione.

• Rx-Tx:

Deve amplificare il segnale in alta frequenza, generato dalla CGU.

Di seguito la Tabella 1-1 riassuntiva delle dinamiche di alimentazione dei singoli Carichi.

| TABELLA 1-1 | | | | | | | |
|--|------------|----------|---------|----------|---------------|--|--|
| Dinamiche di alimentazione dei carichi | | | | | | | |
| Carico | Tensione | Corrente | Ripple | Corrente | Modalità di | | |
| | Nominale | Nominale | Ammesso | massima | funzionamento | | |
| PC di bordo | 24 V ±4 | 3 A | 100 mV | 3 A | Continuo | | |
| Amplificatore | 24 V ±1 | 2.5 A | 150 mV | 12 A | Pulsato | | |
| RF | 27 V ±1 | 2.3 A | 130 m v | 1271 | 1 disato | | |
| CGU | 5 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo | | |
| FGU | 12 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo | | |
| DU1 | 5 V ±0.5 | 4 A | 60 mV | 4 A | Continuo | | |
| DU2 | 3.3 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo | | |
| Switch RF 1 | -96 V ± 2 | 5 mA | 60 mV | 5 mA | Continuo | | |
| Switch RF 2 | 5 V ±0.5 | 100 mA | 60 mV | 100 mA | Continuo | | |
| Rx-Tx | 12 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo | | |

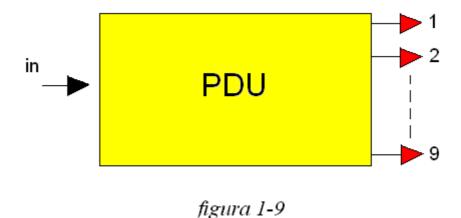
1.4 IL SISTEMA

La prima operazione da effettuare è quella di sintetizzare il sistema PDU mediante una struttura a blocchi che permetta di capire quali sono i dati di cui si è in possesso e le richieste che il progetto deve soddisfare. Con riferimento alle specifiche di progetto, riportate nel paragrafo precedente, si inizia con l'individuare gli ingressi e le uscite del sistema.

L'unico ingresso è una tensione continua fornita da un pacco di batterie.

Le uscite sono rappresentate dai carichi che la PDU deve alimentare: PC di bordo, Amplificatore RF, CGU, FGU, DU1, DU2, Switch RF 1, Switch RF2, Rx-Tx; quindi nove uscite.

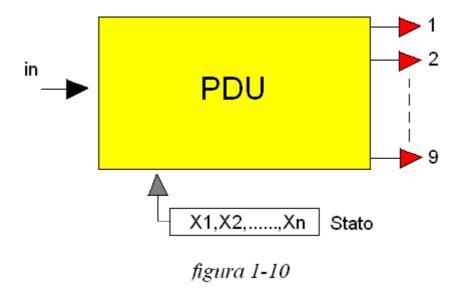
Quanto detto si sintetizza nel seguente schema a blocchi (fig.1-9):



In realtà, dovranno essere considerati altri ingressi ed altre uscite che interesseranno la struttura di controllo, segnale di comando ON/OFF e comunicazione esterna, ma, questi, verranno introdottiti in una fase più avanzata del progetto.

La richiesta di effettuare un controllo sul sistema, al fine di salvaguardare l'integrità dei dispositivi di carico e dell'alimentatore stesso, rende necessaria la considerazione di altre

grandezze interne alla struttura schematizzata, dette grandezze di stato. Questi parametri andranno a modificare la risposta del sistema in funzione di uno specifico evento occorso.



Il controllo realizzato si basa, sostanzialmente, sul monitoraggio, ove necessario, delle tensioni e delle correnti destinate ai carichi, oltre che della tensione di ingresso, andando ad inibire le uscite verso il carico che presenti situazioni anomale di funzionamento. In questo modo, si impedisce che un singolo carico, a causa di un malfunzionamento, possa danneggiare l'alimentatore assorbendo una potenza maggiore di quella ad esso assegnata , limitando, inoltre, danni ulteriori allo stesso carico. Le grandezze di stato, di cui si dice, saranno le stesse tensioni e correnti di uscita, che, al di fuori di un assegnato range di valori, genereranno un cambiamento di stato nel sistema.

Schematizzando, sempre mediante una struttura a blocchi, la PDU (fig.1-11), si vedono quali sono i sottoblocchi che si dovranno in seguito sviluppare.

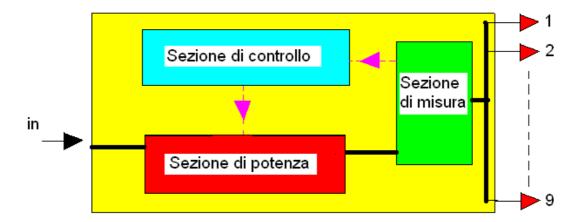


figura 1-11

Analizzando la struttura riportata nella figura 1-11 si ha:

Sezione di Potenza:

Racchiude i dispositivi atti alla conversione della tensione e alla protezione. Dalle considerazioni riportate nel capitolo 2, si utilizzeranno, per convertire le suddette tensioni, dei dispositivi in tecnica Switching. Per la protezione saranno impiegati dei dispositivi che realizzino un'interruzione dell'erogazione di potenza, praticamente degli interruttori.

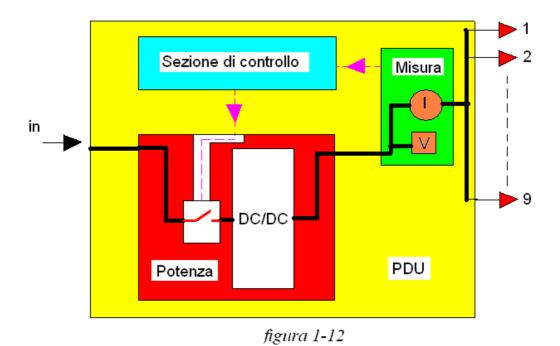
Sezione di Controllo:

Unità che si occupa dell'elaborazione dei dati provenienti dalla sezione di misura e genera i comandi di controllo.

Sezione di misura:

Misura tensione e corrente e trasmette il valore alla sezione di controllo.

Da quanto detto lo schema si particolarizza come segue, fig. 1-12:



Ha ora inizio un'analisi distinta dei sistemi delle tre sezioni che compongono la PDU.

Sezione di Potenza

La sezione di potenza dovrà fornire energia ai nove carichi e a tutte le apparecchiature di sistema. In una prima fase saranno considerati solo i carichi. Analizzandoli singolarmente:

| TABELLA 2-2 Specifiche | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|----------|--|--|--|--|
| CARICO | TENSIONE | CORRENTE | | | | |
| 0111100 | NOMINALE | NOMINALE | | | | |
| PC di bordo | 24 V ±4V | 3 A | | | | |
| Amplificatore RF | 24 V ±4V | 12 A | | | | |
| CGU | 5 V ±0.5V | 1 A | | | | |
| FGU | 12 V ±0.5V | 1 A | | | | |
| DU1 | 5 V ±0.5V | 4 A | | | | |
| DU2 | 3.3 V ±0.5V | 1 A | | | | |
| Switch RF 1 | $-96 \text{ V} \pm 2 \text{V}$ | 5 mA | | | | |
| Switch RF 2 | $5 \text{ V} \pm 0.5 \text{V}$ | 100 mA | | | | |
| Rx-Tx | 12 V ±0.5V | 1 A | | | | |

La diversità di tensioni e correnti dei singoli carichi e la possibilità di avere a disposizione un'unica tensione in ingresso, data dal pacco batterie, rendono necessario l'inserimento di dispositivi elettronici, atti alla conversione della tensione, quantomeno uno per ogni valore di tensione espresso nelle specifiche. Inoltre, l'esigenza di proteggere ciascun carico, mediante l'interruzione dell'alimentazione, comporta il dover considerare, per ogni carico, un convertitore dedicato, in modo da non interrompere l'alimentazione di più carichi a seguito di una singola anomalia. Per quanto riguarda la parte dedicata alla protezione, si pensa di inserire un dispositivo che interrompa l'alimentazione su ogni linea di carico a monte delle macchine di conversione, in modo da salvaguardare il sistema anche da guasti del convertitore.

Schematizzando si ha (fig. 1-13):

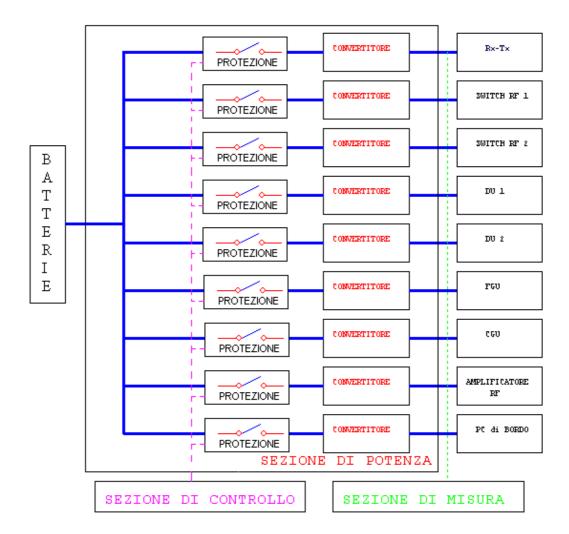


figura 1**-**13

Sezione di controllo

La sezione di controllo sarà composta da un controllore che dovrà generare i comandi per l'appropriata gestione del sistema PDU. Il microcontrollore riceverà informazioni dalla sezione di misura, che li dovrà elaborare, attraverso un software di controllo, onde poter intervenire tempestivamente sugli apparati di protezione sia in modo automatico sia rispondendo ai comandi di un operatore a terra. I microcontrollori sono sistemi digitali, quindi, essendo i dati provenienti dalla sezione di misura grandezze analogiche, sarà introdotto un sistema di conversione analogico/digitale con, a monte, un condizionamento del segnale ai valori imposti dal convertitore A/D. Oltre alla funzione di monitoraggio, il microcontrollore, dovrà gestire comandi di accensione e spegnimento della PDU ed avere un sistema di comunicazione con l'esterno sia per poter scambiare i dati acquisiti e ricevere i comandi di attivazione e disattivazione, sia per inviare le segnalazioni operative a terra, sia, ancora, per permettere al sistema una versatilità di funzionamento, potendo essere, in questo modo, riprogrammabile on board in seguito a modifiche apportate.

Schematizzando si ha (fig. 1-14):

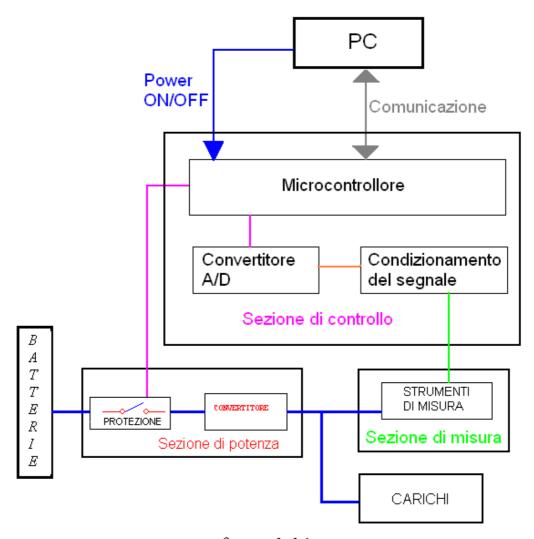


figura 1**-**14

Sezione di misura

La sezione di misura sarà composta da dispositivi atti alla misura di tensione e corrente. Si valutano, per prima cosa, quali sono le tensioni e le correnti di interesse e, quindi, si stabilisce se è possibile minimizzare il numero di dispositivi impiegati, sia per ridurre i costi di realizzazione, sia per ridurre l'ingombro della struttura stessa. In linea di principio, si dovranno conoscere la tensione di ingresso, le nove tensioni e le nove correnti di uscita. In questa prospettiva, si avrà bisogno di dieci dispositivi per la misura della tensione e nove per la corrente. Attenzione particolare meritano i carichi Switch RF1 e Switch RF2. Essi si occupano della commutazione dell'antenna da ricevente a trasmittente e viceversa. Per l'ordine di grandezza delle correnti e delle tensioni in gioco è stato deciso di non monitorare il sistema Switch RF, limitando alla sola protezione dei fusibili questi due carichi.

In conclusione, saranno considerati otto dispositivi per la misura della tensione e sette per la corrente.

Schematizzando si ha (fig. 1-15):

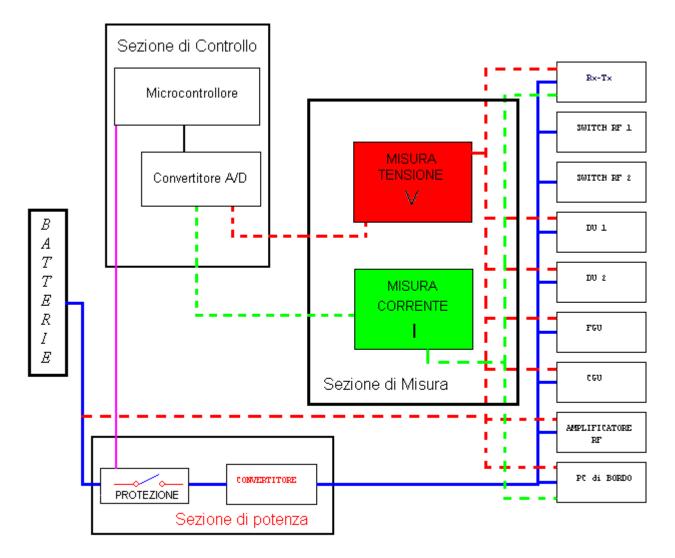
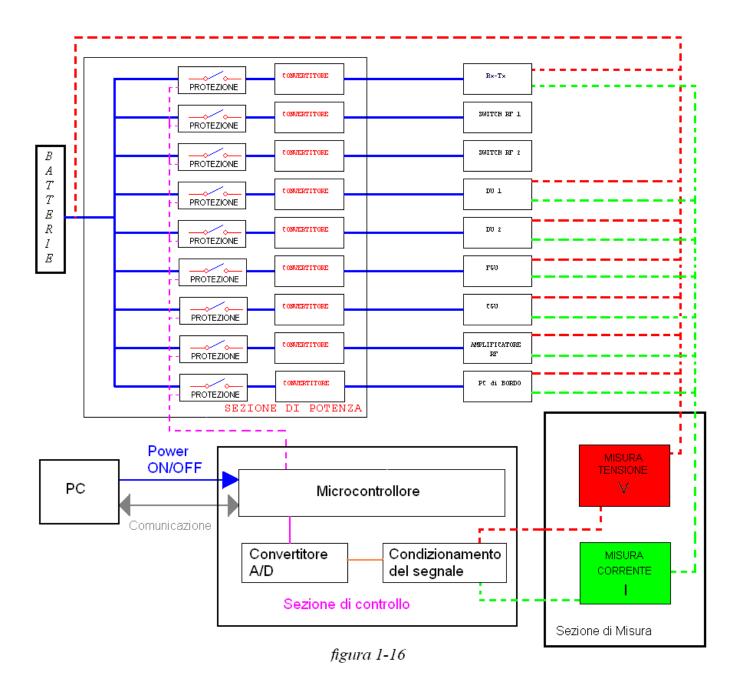


figura 1-15

Riportando le tre sezioni di potenza, controllo e misura in un unico schema a blocchi, si ritrova lo schema dell'intera PDU (fig. 1-16), che costituisce il punto di partenza per un'analisi dettagliata dell'hardware che andrà a comporre l'alimentatore.



1-27

A conclusione della panoramica del progetto, esposta in questo capitolo, si passa alla descrizione del firmware di controllo e gestione della PDU. Il firmware è un programma integrato direttamente su di un componente elettronico, nel caso specifico un microcontrollore, con lo scopo di far interagire il dispositivo con gli altri costituenti il sistema. Nel realizzare un firmware i passi da seguire sono i seguenti:

- Studio di fattibilità dell'applicazione.
- Analisi dei requisiti e definizione delle specifiche.
- Progettazione dell'architettura del programma.
- Codifica del programma.
- Testing.

Lo studio di fattibilità ha come obiettivo la valutazione dei costi e dei tempi di realizzazione del progetto, rientrando con entrambi nelle specifiche del committente. Questa fase permette di valutare fino a che livello di complessità e di evoluzione spingere il programma.

Nell'analisi dei requisiti del programma si prende visione di tutte le richieste del committente e quindi del problema da risolvere. Pertanto, risulta utile sintetizzare il tutto in uno schema (fig. 1-17) che dia l'idea di quali e quanti siano i moduli da sviluppare successivamente.

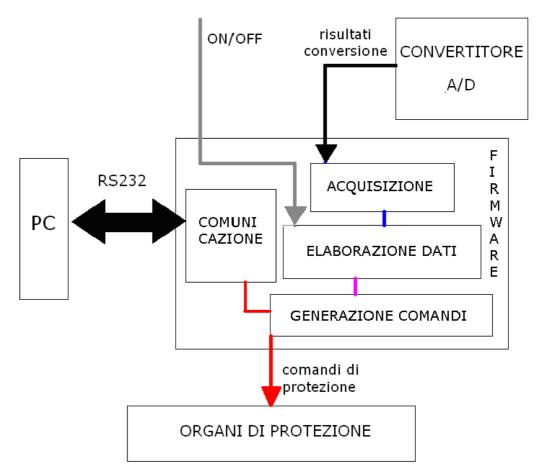


figura 1-17

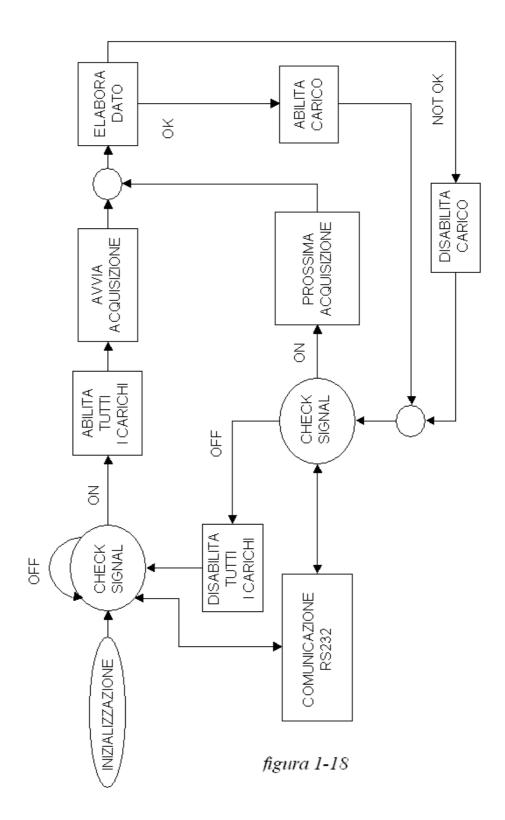
La richiesta è quella di realizzare un programma che permetta di accendere e spegnere il sistema PDU, che tenga sottocontrollo le tensioni e le correnti di alcuni carichi e provveda ad interrompere l'erogazione di potenza al carico mal funzionante. Inoltre, il sistema dovrà gestire un protocollo di comunicazione RS232. Nel trasformare l'analisi dei requisiti in specifiche, per prima cosa, si effettua l'identificazione dei segnali di ingresso. Un segnale TTL indicherà l'ON e l'OFF di tutto il sistema; così, individuato il tipo di comando, intervenendo sugli organi di interruzione, verranno abilitati o disabilitati tutti i carichi. Una volta avviato il sistema, il programma acquisirà, continuamente, i risultati della conversione analogico digitale forniti dal convertitore preposto. Questi dati, riporteranno la misura delle tensioni e delle correnti monitorate. Una volta acquisiti i dati, saranno elaborati e si attiverà, qualora i valori non fossero

quelli aspettati, lo specifico dispositivo di interruzione del punto presentante l'anomalia di funzionamento. Prima di attivare qualsiasi funzione di comando, verrà effettuato un controllo sulla correttezza dei dati acquisiti, in modo da evitare errori che possano interrompere il corretto funzionamento del sistema, causa falsi allarmi. E' richiesta, inoltre, una funzione che implementi il protocollo di comunicazione RS232, in modo da poter interfacciare l'intero sistema PDU ed un PC esterno.

Le specifiche inducono a sviluppare le seguenti funzioni:

- Funzione di Acquisizione.
- Funzione di Riconoscimento del segnale di ingresso.
- Funzione di Generazione Comandi.
- Funzione di Comunicazione.

Il progetto dell'architettura del programma prevede la decomposizione del sistema in diversi moduli, individuando i legami tra quest'ultimi. Questa fase si divide, a sua volta, in due sottofasi: high level, detto progetto concettuale e low level, parte ricca di dettagli realizzativi che andranno definiti per ciascun modulo. In questo capitolo si svilupperà solo l'high level, rimandando al capitolo 4 il low level, legato a dettagli che sono funzione dei componenti non ancora scelti. Nello schema a blocchi di figura 1-18 è riportato il principio di funzionamento del firmware:



La metodologia di sviluppo che si è scelto di seguire è quella dell'automa a stati finiti: metodo formale di specifica dei requisiti di tipo operazionale, fondato sulla descrizione degli stati della macchina e sulle transizioni di stato che ne caratterizzano l'evoluzione. L'obiettivo è quello di realizzare un firmware deterministico di controllo, preoccupandosi di prevedere e quindi determinare, tutti gli stati possibili in cui può trovarsi la macchina da controllare, generando tutti i comandi per passare da uno stato all'altro. Il primo passo consiste nell'identificazione di tutti gli stati possibili.

• Stato OFF, Q₀

Condizione di macchina spenta, tutti i carichi sono disabilitati, il sistema resterà in questo stato fino a quando non arriverà il segnale di ON e ritornerà in questo stato tutte le volte che arriverà il segnale di OFF, indipendentemente dallo stato in cui si trova la macchina.

• Stato ON, Q₅₉

Condizione di macchina accesa, sono abilitati i carichi PC di Bordo, Digital Unit, FGU e CGU. Dallo Stato ON, stato che sarà caratterizzato con l'etichetta di stato di terzo livello, in quanto sono tre i carichi disattivati, la macchina potrà evolvere, oltre che nello stato OFF, nello stato di SAR ON, stato che prevede l'accensione di tutti i dispositivi per avviare l'inizio delle attività del radar, in tutti gli stati di secondo livello, due carichi disattivati ed in quelli di quarto livello, quattro carichi disattivati. L'introduzione dello stato di ON è dovuta al voler ottimizzare il consumo delle batterie, evitando di attivare le operazioni di acquisizione dati SAR, quando queste non sono necessarie, proprio perché il pallone non raggiungerà subito il luogo di inizio attività, ma effettuerà un tragitto iniziale, dove sarà inutile l'attività del radar. Pertanto, saranno attivati solo i carichi indispensabili.

Oltre a questi stati, che possono essere considerati fondamentali rispetto agli altri, solo perché saranno stati in cui la macchina sicuramente si troverà a lavorare, ci saranno altri

stati che sono stati divisi in livelli, dove ogni livello contraddistingue la disattivazione dello stesso numero di carichi

• Stato SAR ON, Q₁

Condizione di inizio attività del radar, tutti i carichi sono abilitati. Dallo Stato SAR ON in poi la macchina può evolvere, oltre che nello stato OFF ed in quello ON, in sette stati differenti. Ciascuno di questi stati contraddistingue la disattivazione di un singolo carico. Questi ultimi stati saranno identificati con l'etichetta di stati di primo livello (tab. 1-3).

| | TABELLA 1-3 Stati indicanti un singolo carico disattivato, primo livello | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|
| | Stato | Condizione di sistema | | |
| Q_2 | DU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne la Digital Unit | | |
| Q_3 | FGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne la FGU | | |
| Q_4 | SW OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne lo Switch RF | | |
| Q_5 | CGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne la CGU | | |
| Q_6 | RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne la RxTx | | |
| Q ₇ | PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne il PC di bordo | | |
| Q_8 | RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne l'amplificatore RF | | |

Da ciascuno di questi stati la macchina può tornare nello stato SAR ON, se l'operatore lo ritiene opportuno o se la causa che ha disabilitato il carico è risolta; può tornare nello stato OFF, se arriva il comando di spegnimento; può rimanere nello stato dove si trova; può andare nello stato ON, oppure evolvere in altri stati, indicanti due carichi disattivati contemporaneamente. Questi ultimi stati saranno identificati con l'etichetta di stati di secondo livello (tab. 1-4).

| TABELLA 1-4 | | | | | |
|--|--------------|--|--|--|--|
| Stati indicanti due carichi disattivati, secondo livello | | | | | |
| | | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| Q 9 | DU/FGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit e FGU | | | |
| Q ₁₀ | DU/SW OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit e Switch RF | | | |
| Q ₁₁ | DU/CGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit e CGU | | | |
| Q ₁₂ | DU/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit e RxTx | | | |
| Q ₁₃ | DU/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne:Digital Unit e PC di bordo | | | |
| Q_{14} | DU/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 14 | DO/IN OFF | Digital Unit e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₅ | FGU/SW OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: FGU e Switch RF | | | |
| Q ₁₆ | FGU/CGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: FGU e CGU | | | |
| Q ₁₇ | FGU/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: FGU e RxTx | | | |
| Q ₁₈ | FGU/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: FGU e PC di bordo | | | |
| Q ₁₉ | FGU/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: la FGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₂₀ | SW/CGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Switch RF e CGU | | | |
| Q ₂₁ | SW/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Switch RF e RxTx | | | |
| Q_{22} | SW/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 22 | | Switch RF e PC di bordo | | | |
| | CIV/DE OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q ₂₃ | SW/RF OFF | lo Switch RF e amplificatore RF | | | |
| Q ₂₄ | CGU/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: CGU e RxTx | | | |
| Q ₂₅ | CGU/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: CGU e PC di bordo | | | |
| Q ₂₆ | CGU/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: CGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₂₇ | RxTx/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: RxTx e PC di bordo | | | |
| | RxTx/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q_{28} | KX1X/KF UFF | RxTx e amplificatore RF | | | |
| | DC/DE OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q ₂₉ | PC/RF OFF | PC di bordo e amplificatore RF | | | |

Da ciascuno di questi stati la macchina può tornare in uno stato di primo livello, se l'operatore lo ritiene opportuno o se la causa che ha disabilitato uno dei carichi è risolta, può tornare nello stato OFF, se arriva il comando di spegnimento; può rimanere nello stato dove si trova; può andare nello stato SAR ON, oppure evolvere in altri stati, indicanti tre carichi disattivati contemporaneamente. Questi ultimi stati saranno identificati con l'etichetta di stati di terzo livello (tab. 1-5).

| | TABELLA 1-5a Stati indicanti tre carichi disattivati, terzo livello | | | | |
|-----------------|--|--|--|--|--|
| | Stato Condizione di sistema | | | | |
| Q ₃₀ | DU/FGU/SW OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, FGU e Switch RF | | | |
| Q ₃₁ | DU/FGU/CGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, FGU e CGU | | | |
| Q ₃₂ | DU/FGU/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, FGU e RxTx | | | |
| Q ₃₃ | DU/FGU/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, FGU e PC di bordo | | | |
| Q ₃₄ | DU/FGU/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, FGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₃₅ | DU/SW/CGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, Switch RF e CGU | | | |
| Q ₃₆ | DU/SW/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, Switch RF e RxTx | | | |
| Q ₃₇ | DU/SW/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, Switch RF e PC di bordo | | | |
| Q ₃₈ | DU/SW/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: Digital Unit, Switch RF e amplificatore RF | | | |

| | TABELLA 1-5b | | | | |
|-----------------|--|--|--|--|--|
| | Stati indicanti tre carichi disattivati, terzo livello | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| | DU/CGU/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q ₃₉ | DU/CGU/KXIX OFF | Digital Unit, CGU e RxTx | | | |
| Q_{40} | DU/CGU/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 40 | Dovedon Con | Digital Unit, CGU e PC di bordo | | | |
| Q_{41} | DU/CGU/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 41 | Boredonia ori | Digital Unit, CGU e amplificatore RF | | | |
| Q_{42} | DU/RxTx/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 42 | Deficiency of the | Digital Unit, RxTx e PC di bordo | | | |
| Q_{43} | DU/RxTx/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 43 | De/Idiliard off | Digital Unit, RxTx e amplificatore RF | | | |
| Q_{44} | DU/PC/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| 717 | | Digital Unit, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| Q_{45} | FGU/SW/CGU OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| | | FGU, Switch RF e CGU | | | |
| Q_{46} | FGU/SW/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| | | FGU, Switch RF e RxTx | | | |
| Q_{47} | FGU/SW/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| | | FGU, Switch RF e PC di bordo | | | |
| Q_{48} | FGU/SW/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| | | FGU, Switch RF e amplificatore RF | | | |
| Q ₄₉ | FGU/CGU/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| | | FGU, CGU e RxTx | | | |
| Q_{50} | FGU/CGU/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| | | FGU, CGU e PC di bordo | | | |
| Q ₅₁ | FGU/CGU/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| | | FGU, CGU e amplificatore RF | | | |

| TABELLA 1-5c | | | | | |
|-----------------|--|---|--|--|--|
| | Stati indicanti tre carichi disattivati, terzo livello | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| Q ₅₂ | FGU/RxTx/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 52 | rgo/kx1x/1 c orr | FGU, RxTx e PC di bordo | | | |
| Q ₅₃ | FGU/RxTx/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 53 | TGO/RATA/RI OTT | FGU, RxTx e amplificatore RF | | | |
| Q ₅₄ | FGU/PC/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 54 | 1 GO/1 C/KI OI I | FGU, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| Q ₅₅ | SW/CGU/RxTx OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| QSS | SW/CGC/RX1X OI 1 | SW, CGU e RxTx | | | |
| Q ₅₆ | SW/CGU/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 56 | | SW, CGU e PC di bordo | | | |
| Q ₅₇ | SW/CGU/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 3/ | SW/CGC/IN OIT | SW, CGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₅₈ | SW/RxTx/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 38 | S WIGHT OF T | Switch RF, RxTx e PC di bordo | | | |
| Q_{60} | SW/PC/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| 200 | S W/I C/Id OII | Switch RF, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| Q ₆₁ | CGU/RxTx/PC OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| ₹01 | | CGU, RxTx e PC di bordo | | | |
| Q_{62} | CGU/RxTx/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| 02 | | CGU, RxTx e amplificatore RF | | | |
| Q ₆₃ | CGU/PC/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| €03 | 3 2 3 2 3 7 3 3 1 | CGU, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| Q ₆₄ | RxTx/PC/RF OFF | Tutti i carichi sono abilitati tranne: | | | |
| Q 64 | | RxTx, PC di bordo e amplificatore RF | | | |

Da ciascuno di questi stati la macchina può tornare in uno stato di secondo livello, se l'operatore lo ritiene opportuno o se la causa che ha disabilitato uno dei carichi è risolta, può tornare nello stato OFF, se arriva il comando di spegnimento; può rimanere nello stato dove si trova; può andare nello stato SAR ON, oppure evolvere in altri stati, indicanti quattro carichi disattivati contemporaneamente. Questi ultimi stati saranno identificati con l'etichetta di stati di quarto livello (tab. 1-6). Si Sottolinea, a questo punto, che, nel dare il nome specifico ad ogni stato, sono stati presi in considerazione i carichi disabilitati. Da questo punto in poi, per adottare una notazione più sintetica e leggibile, saranno indicati quelli abilitati, che, ora, sono in numero inferiore rispetto agli altri.

| | TABELLA 1-6a | | | | |
|-----------------|---|---|--|--|--|
| | Stati indicanti quattro carichi disattivati, quarto livello | | | | |
| | | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| 0 | RxTx/PC/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₆₅ | KX1X/FC/KF ON | RxTx, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| 0 | CGU/PC/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₆₆ | CGO/FC/RF ON | CGU, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| 0 | CGU/RxTx/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₆₇ | CGU/RXTX/RF ON | CGU, RxTx e amplificatore RF | | | |
| 0 | CGU/RxTx/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₆₈ | CGU/RXTX/FC ON | CGU, RxTx e PC di bordo | | | |
| 0 | SW/PC/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₆₉ | SW/FC/KI ON | Switch RF, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| 0 | SW/RxTx/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₇₀ | SW/RXTX/RF ON | Switch RF, RxTx e amplificatore RF | | | |
| 0- | SW/RxTx/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₇₁ | SW/KX1X/FC ON | Switch RF, RxTx e PC di bordo | | | |

| | TABELLA 1-6b | | | | |
|----------------------|---|---|--|--|--|
| | Stati indicanti quattro carichi disattivati, quarto livello | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| 0 | SW/CGU/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₇₂ | SW/CGU/RF ON | Switch RF, CGU e amplificatore RF | | | |
| 0 | SW/CGU/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₇₃ | SW/COO/FC ON | Switch RF, CGU e PC di bordo | | | |
| Q ₇₄ | SW/CGU/RxTx ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 74 | SW/CGO/RX1X ON | Switch RF, CGU e RxTx | | | |
| 0 | FGU/PC/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₇₅ | rou/FC/Rr on | FGU, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| Q ₇₆ | FGU/RxTx/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 7/6 | rgo/kxrx/kr on | FGU, RxTx e amplificatore RF | | | |
| Q ₇₇ | FGU/RxTx/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne | | | |
| Q77 | rgu/kx1x/PC ON | FGU, RxTx e PC di bordo | | | |
| Q ₇₈ | FGU/CGU/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q /8 | r de/ede/id of | FGU, CGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₇₉ | FGU/CGU/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q /9 | 100/000/1001 | FGU, CGU e PC di bordo | | | |
| Oss | FGU/CGU/RxTx ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 80 | 1 GO/CGO/RX1X OIV | FGU, CGU e RxTx | | | |
| Q ₈₁ | FGU/SW/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 81 | 1 GO/S W/ICI OIV | FGU, Switch RF e amplificatore RF | | | |
| Q ₈₂ | FGU/SW/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 82 | 1 GO/S W/1 C OIV | FGU, Switch RF e PC di bordo | | | |
| Q ₈₃ | FGU/SW/RxTx ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| ₹83 | 1 30/5 W/RATA ON | FGU, Switch RF e RxTx | | | |
| Q_{84} | FGU/SW/CGU ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| \(\chi_{84}\) | 1 JU/S W/COU ON | FGU, Switch RF e CGU | | | |

| | TABELLA 1-6c | | | | |
|-----------------|---|--|--|--|--|
| | Stati indicanti quattro carichi disattivati, quarto livello | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| | DIL/DC/DE ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₈₅ | DU/PC/RF ON | Digital Unit, PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| | DU/RxTx/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q ₈₆ | DU/RXTX/RF ON | Digital Unit, RxTx e amplificatore RF | | | |
| Q ₈₇ | DU/RxTx/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 87 | DU/RXTX/FC ON | Digital Unit, RxTx e PC di bordo | | | |
| Q_{88} | DU/CGU/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 88 | Do/Coo/Ki On | Digital Unit, CGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₈₉ | DU/CGU/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 89 | Do/Cdo/I C ON | Digital Unit, CGU e PC di bordo | | | |
| Q ₉₀ | DU/CGU/RxTx ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 90 | DO/CGO/RATA ON | Digital Unit, CGU e RxTx | | | |
| Q ₉₁ | DU/SW/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 91 | DO/SW/RI OIV | Digital Unit, Switch RF e amplificatore RF | | | |
| Q ₉₂ | DU/SW/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 92 | | Digital Unit, Switch RF e PC di bordo | | | |
| Q ₉₃ | DU/SW/RxTx ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 93 | DO/SW/RATA ON | Digital Unit, Switch RF e RxTx | | | |
| Q ₉₄ | DU/SW/CGU ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 94 | DO/SW/CGO OIV | Digital Unit, Switch RF e CGU | | | |
| Q ₉₅ | DU/FGU/RF ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 95 | Don Gond On | Digital Unit, FGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₉₆ | DU/FGU/PC ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 96 | Don Gon Con | Digital Unit, FGU e PC di bordo | | | |
| Q 97 | DU/FGU/RxTx ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| Q 97 | DO/TOO/KATAON | Digital Unit, FGU e RxTx | | | |

| | TABELLA 1-6d | | | | |
|-----------------|---|---|--|--|--|
| | Stati indicanti quattro carichi disattivati, quarto livello | | | | |
| | Stato Condizione di sistema | | | | |
| Q_{98} | DU/FGU/CGU ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| 296 | | Digital Unit, FGU e CGU | | | |
| Q ₉₉ | DU/FGU/SW ON | Tutti i carichi sono disabilitati tranne: | | | |
| 2 99 | | Digital Unit, FGU e Switch RF | | | |

Da ciascuno di questi stati la macchina può tornare in uno stato di terzo livello, se l'operatore lo ritiene opportuno o se la causa che ha disabilitato uno dei carichi è risolta; può tornare nello stato OFF, se arriva il comando di spegnimento; può rimanere nello stato dove si trova; può andare nello stato SAR ON, oppure evolvere in altri stati, indicanti cinque carichi disattivati contemporaneamente. Questi ultimi stati saranno identificati con l'etichetta di stati di quinto livello (tab. 1-7).

| | TABELLA 1-7a | | | | |
|------------------|--|--|--|--|--|
| | Stati indicanti cinque carichi disattivati, quinto livello | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| Q ₁₀₀ | PC/RF ON | Sono abilitati: PC di bordo e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₀₁ | RxTx/RF ON | Sono abilitati: RxTx e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₀₂ | RxTx/PC ON | Sono abilitati: RxTx e PC di bordo | | | |
| Q ₁₀₃ | CGU/RF ON | Sono abilitati: CGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₀₄ | CGU/PC ON | Sono abilitati: CGU e PC di bordo | | | |
| Q ₁₀₅ | CGU/RxTx ON | Sono abilitati: CGU e RxTx | | | |
| Q ₁₀₆ | SW/RF ON | Sono abilitati: Switch RF e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₀₇ | SW/PC ON | Sono abilitati: Switch RF e PC di bordo | | | |
| Q ₁₀₈ | SW/RxTx ON | Sono abilitati: Switch RF e RxTx | | | |

| | TABELLA 1-7b | | | | |
|------------------|--|---|--|--|--|
| | Stati indicanti cinque carichi disattivati, quinto livello | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| Q ₁₀₉ | SW/CGU ON | Sono abilitati: Switch RF e CGU | | | |
| Q ₁₁₀ | FGU/RF ON | Sono abilitati: FGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₁₁ | FGU/PC ON | Sono abilitati: FGU e PC di bordo | | | |
| Q ₁₁₂ | FGU/RxTx ON | Sono abilitati: FGU e RxTx | | | |
| Q ₁₁₃ | FGU/CGU ON | Sono abilitati: FGU e CGU | | | |
| Q ₁₁₄ | FGU/SW ON | Sono abilitati: FGU e Switch RF | | | |
| Q ₁₁₅ | DU/RF ON | Sono abilitati: Digital Unit e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₁₆ | DU/PC ON | Sono abilitati: Digital Unit e PC di bordo | | | |
| Q ₁₁₇ | DU/RxTx ON | Sono abilitati: Digital Unit e RxTx | | | |
| Q ₁₁₈ | DU/CGU ON | Sono abilitati: Digital Unit e CGU | | | |
| Q ₁₁₉ | DU/SW ON | Sono abilitati: Digital Unit e Switch RF | | | |
| Q ₁₂₀ | DU/FGU ON | Sono abilitati: Digital Unit e FGU | | | |

Da ciascuno di questi stati la macchina può tornare in uno stato di quarto livello, se l'operatore lo ritiene opportuno o se la causa che ha disabilitato uno dei carichi è risolta; può tornare nello stato OFF, se arriva il comando di spegnimento; può rimanere nello stato dove si trova; può andare nello stato SAR ON, oppure evolvere in altri stati, indicanti sei carichi disattivati contemporaneamente. Questi ultimi stati saranno identificati con l'etichetta di stati di sesto livello (tab. 1-8).

| | TABELLA 1-8 | | | | |
|------------------|--|---|--|--|--|
| Stati | Stati indicanti malfunzionamento di sei carichi, sesto livello | | | | |
| | Stato | Condizione di sistema | | | |
| Q ₁₂₁ | RF ON | E'abilitato solo FGU e amplificatore RF | | | |
| Q ₁₂₂ | PC ON | E'abilitato solo PC di bordo | | | |
| Q ₁₂₃ | RxTx ON | E'abilitato solo RxTx | | | |
| Q ₁₂₄ | CGU ON | E'abilitato solo CGU | | | |
| Q ₁₂₅ | SW ON | E'abilitato solo Switch RF | | | |
| Q ₁₂₆ | FGU ON | E'abilitato solo FGU | | | |
| Q ₁₂₇ | DU ON | E'abilitato solo Digital Unit | | | |

Da ciascuno di questi stati la macchina può tornare in uno stato di quinto livello, se l'operatore lo ritiene opportuno o se la causa che ha disabilitato uno dei carichi è risolta; può andare nello stato OFF, se arriva il comando di spegnimento; può rimanere nello stato dove si trova; può andare nello stato SAR ON, oppure evolvere in un ultimo stato, indicante tutti i carichi disattivati contemporaneamente. Questo ultimo stato sarà identificato con l'etichetta di stato TUTTI OFF, Q_{128} .

Si riportano nella tabella 1-9 tutti gli stati in funzione dei possibili ingressi. E' stato assegnato il valore "1" ad un ingresso abilitato e "0" ad uno disabilitato.

| | | | | | | | | | | | TAB | ELLA 1-9 | | | | | |
|------------|------|------|------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | _ | | ON/OFF DU FGU SW | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 0000 | 0001 | 0011 | 0010 | 0110 | 0100 | 0101 | 0111 | 1111 | 1110 | 1100 | 1101 | 1001 | 1000 | 1010 | 1011 |
| | 0000 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | DU/FGU/SW ON | DU/FGU ON | DU ON | DU/SW ON | SW ON | TUTTI OFF | FGU ON | FGU/SW ON |
| | 0001 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | CGU/RxTx/PC OFF | DU/FGU/RF ON | DU/RF ON | DU/SW/RF ON | SW/RF ON | RF ON | FGU/RF ON | FGU/SW/RF ON |
| | 0011 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | CGU/RxTx OFF | SW/CGU/RxTx OFF | DU/PC/RF ON | FGU/CGU/RxTx OFF | SW/PC/RF ON | PC/RF ON | FGU/PC/RF ON | DU/CGU/RxTx OFF |
| | 0010 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | CGU/RxTx/RF OFF | DU/FGU/PC ON | DU/PC ON | DU/SW/PC ON | SW/PC ON | PC ON | FGU/PC ON | FGU/SW/PC ON |
| | 0110 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | CGU/RF OFF | SW/CGU/RF OFF | DU/RxTx/PC ON | FGU/CGU/RF OFF | SW/RxTx/PC ON | RxTx/PC ON | FGU/RxTx/PC ON | DU/CGU/RF OFF |
| RF | 0100 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | CGU/PC/RF OFF | DU/FGU/RxTx ON | DU/RxTx ON | DU/SW/RxTx ON | SW/RxTx ON | RxTx ON | FGU/RxTx ON | FGU/SW/RxTx ON |
| U/RxTx/PC/ | 0101 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | CGU/PC OFF | SW/CGU/PC OFF | DU/RxTx/RF ON | FGU/CGU/PC OFF | SW/RxTx/RF ON | RxTx/RF ON | FGU/RxTx/RF ON | DU/CGU/PC OFF |
| | 0111 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | CGU OFF | SW/CGU OFF | FGU/SW/CGU OFF | FGU/CGU OFF | DU/FGU/CGU OFF | RxTx/PC/RF ON | DU/SW/CGU OFF | DU/CGU OFF |
| | 1111 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | ON | SW OFF | FGU/SW OFF | FGU OFF | DU/FGU OFF | DU/FGU/SW OFF | DU/SW OFF | DU OFF |
| | 1110 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | RF OFF | SW/RF OFF | FGU/SW/RF OFF | FGU/RF OFF | DU/FGU/RF OFF | CGU/RxTx/PC ON | DU/SW/RF OFF | DU/RF OFF |
| 90 | 1100 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | PC/RF OFF | SW/PC/RF OFF | DU/CGU/RxTx ON | FGU/PC/RF OFF | SW/CGU/RxTx ON | CGU/RxTx ON | FGU/CGU/RxTx ON | DU/PC/RF OFF |
| | 1101 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | PC OFF | SW/PC OFF | FGU/SW/PC OFF | FGU/PC OFF | DU/FGU/PC OFF | CGU/RxTx/RF ON | DU/SW/PC OFF | DU/PC OFF |
| | 1001 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | RxTx/PC OFF | SW/RxTx/PC OFF | DU/CGU/RF ON | FGU/RxTx/PC OFF | SW/CGU/RF ON | CGU/RF ON | FGU/CGU/RF ON | DU/RxTx/PC OFF |
| | 1000 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | RxTx/PC/RF OFF | DU/FGU/CGU ON | DU/CGU ON | DU/SW/CGU ON | SW/CGU ON | CGU ON | FGU/CGU ON | FGU/SW/CGU ON |
| | 1010 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | RxTx/RF OFF | SW/RxTx/RF OFF | DU/CGU/PC ON | DU/RxTx/RF OFF | SW/CGU/PC ON | CGU/PC ON | FGU/CGU/PC ON | DU/RxTx/RF OFF |
| | 1011 | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | RxTx OFF | SW/RxTx OFF | FGU/SW/RxTx OFF | FGU/RxTx OFF | DU/FGU/RxTx OFF | CGU/PC/RF ON | DU/SW/RxTx OFF | DU/RxTx OFF |

Un grafo della macchina, comprendente tutti gli stati, risulterebbe poco leggibile a causa del numero elevato di stati possibili. Si sottolinea, però, pur dovendo in fase di progetto considerare tutti gli stati possibili, che un malfunzionamento di più di un carico, contemporaneamente, risulterebbe una condizione alquanto improbabile. Per questo motivo, si riporta un grafo semplificato della macchina, dove i livelli successivi al primo sono raggruppati come se fossero un unico stato (fig.1-19).

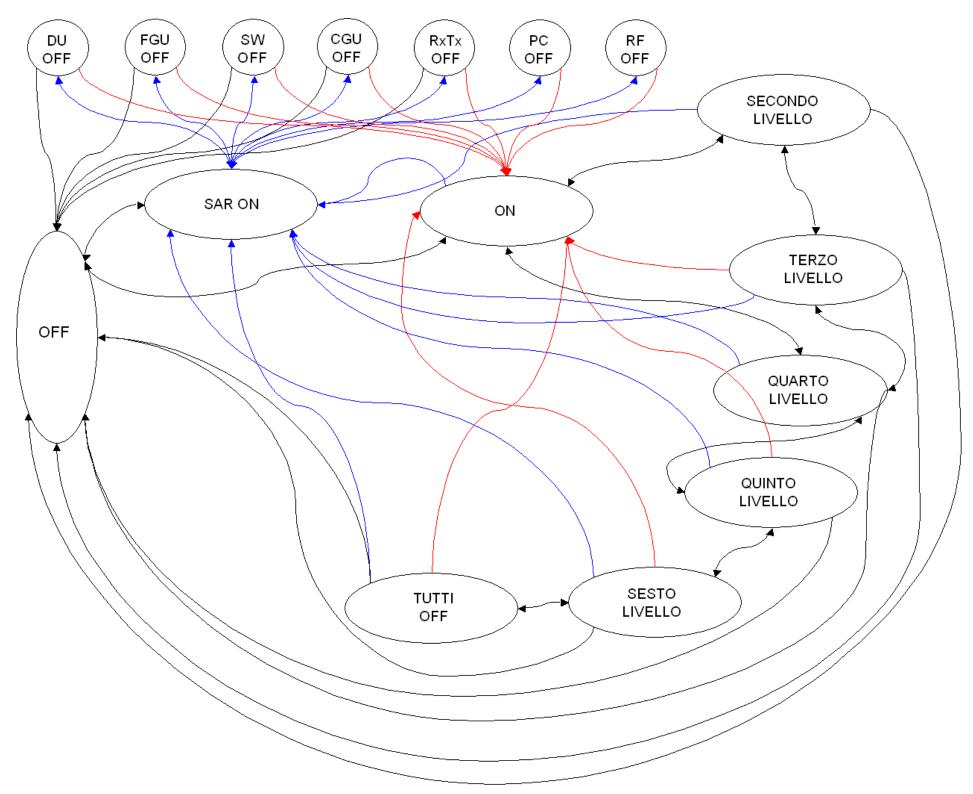
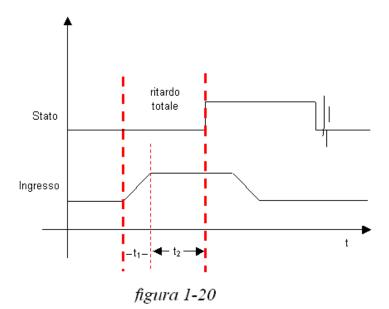


figura 1**-**19

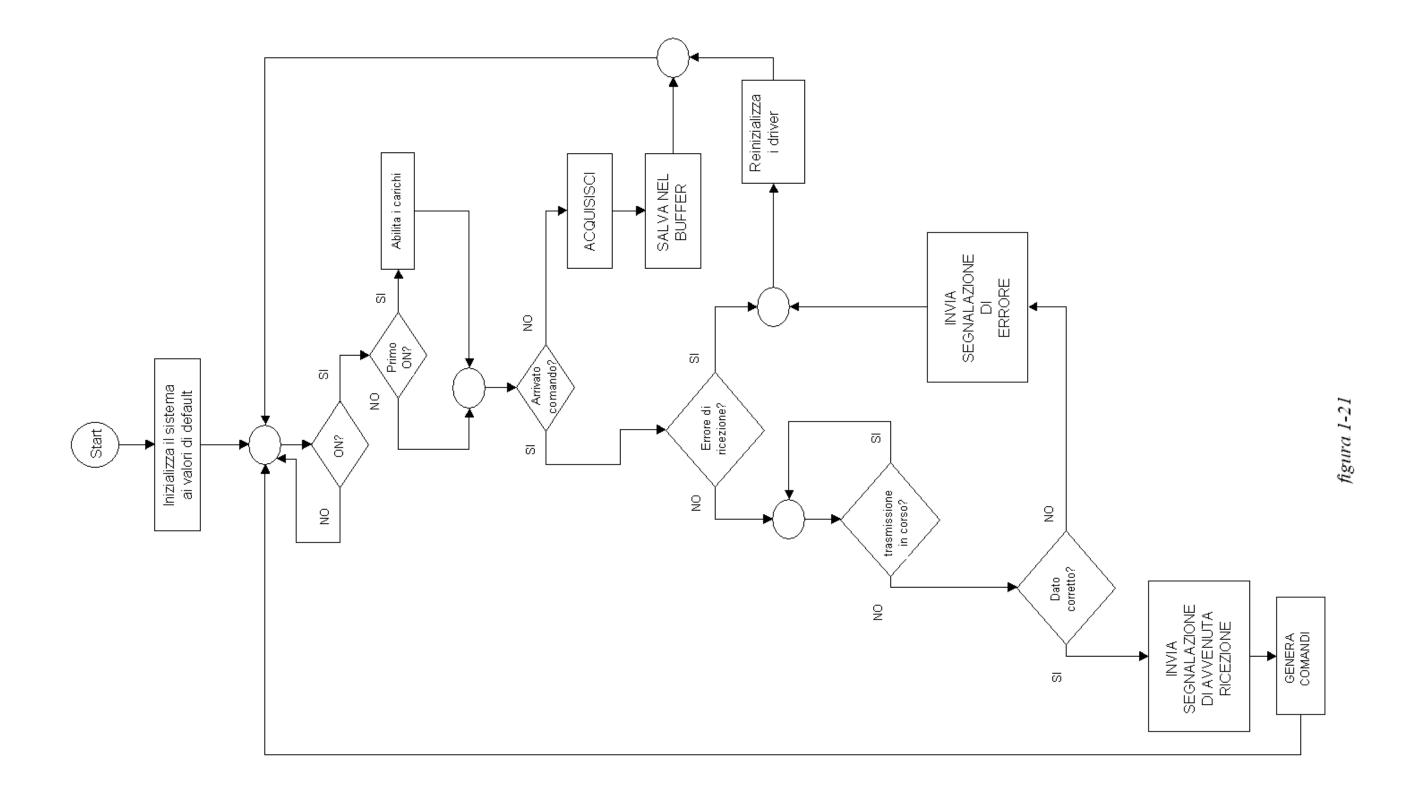
CAPITOLO 1 Sistema

Per completare la visione generale del programma che verrà sviluppato, a seguito della scelta dei componenti, nel capitolo 4, con il completamento dell'architettura del firmware e la codifica, sono riportati il diagramma di flusso ed il diagramma di temporizzazione. Nel diagramma di flusso (fig. 1-21), si riporta, con l'ausilio di un grafo orientato, i cui simboli costituenti i blocchi indicano delle specifiche funzioni, tutta la sequenza di operazioni che il firmware dovrà compiere. Una volta completato il diagramma di flusso, si passa, con il supporto di quest'ultimo, alla stesura del diagramma di temporizzazione (fig. 1-22a, 1-22b, 1-22c, 1-22d), che descrive il funzionamento della macchina. C'è da precisare che, nel diagramma di temporizzazione, i cambiamenti di stato, a seguito delle variazioni degli ingressi, sono stati considerati istantanei. Nella realtà, le transizioni di stato, avvengono dopo un certo tempo di ritardo, dovuto ad una serie di fattori quali: il tempo necessario ad un ingresso per passare da ALTO a BASSO o viceversa ed il tempo necessario al programma per elaborare i comandi che determinano il cambiamento di stato (fig.1-20).



CAPITOLO 1 Sistema

Nel diagramma di temporizzazione è stato riportato un segnale "clock" inteso come istante in cui il firmware genera un nuovo comando che porta ad un cambiamento di stato. C'è ancora da notare che l'ordine degli stati riportati nei diagrammi di fig. 1-22a, 1-22b, 1-22c e 1-22d non implica una consecutività temporale degli stessi.



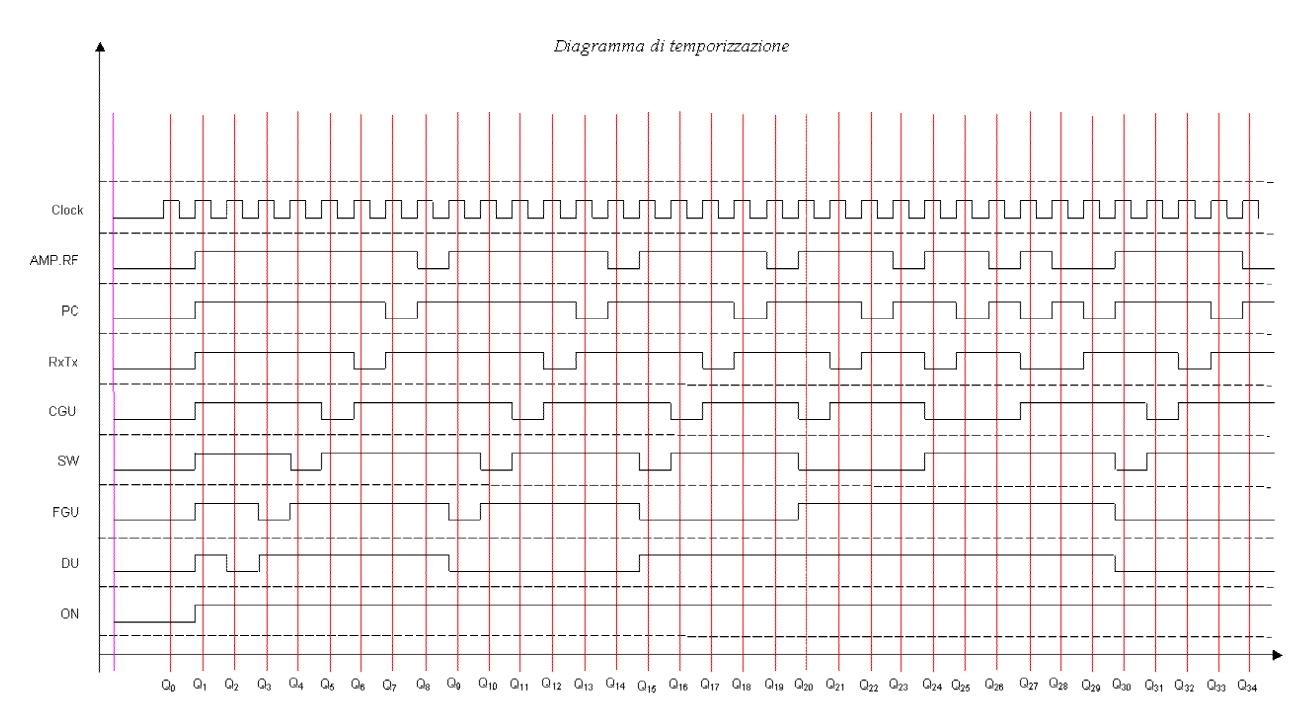


figura 1-22a

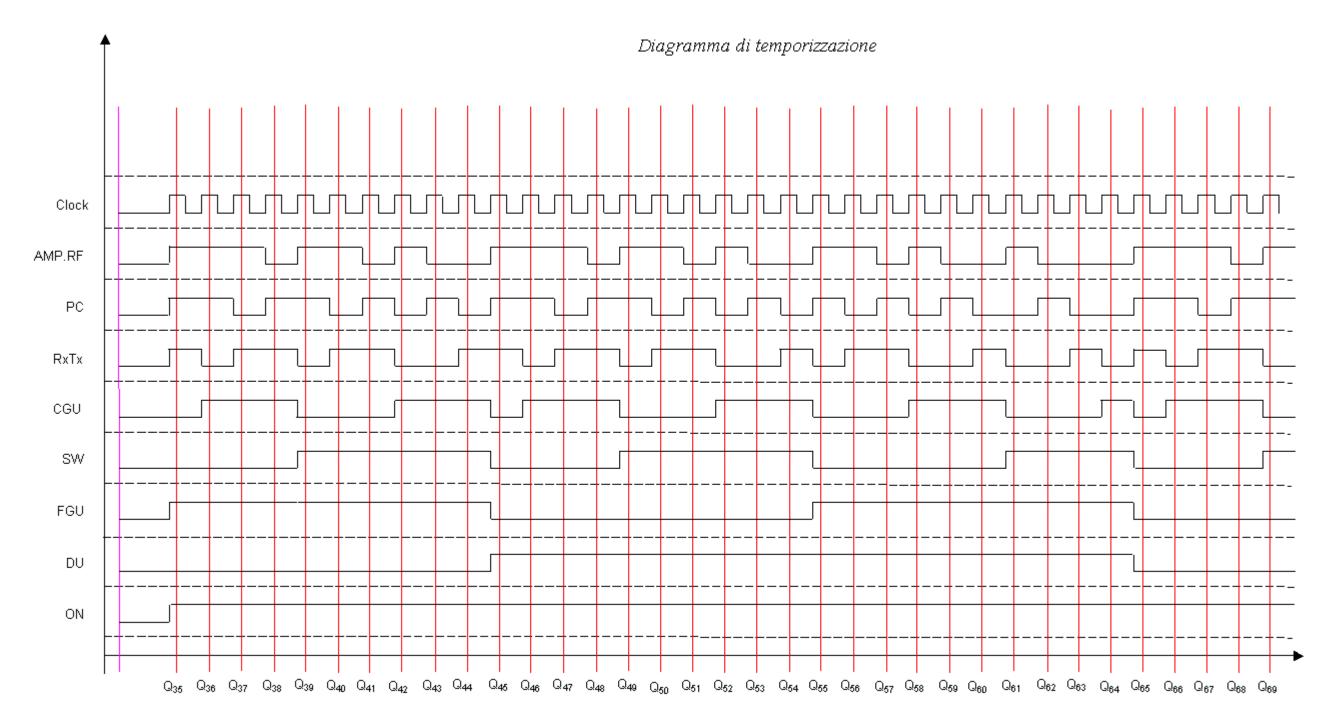


figura 1-22b

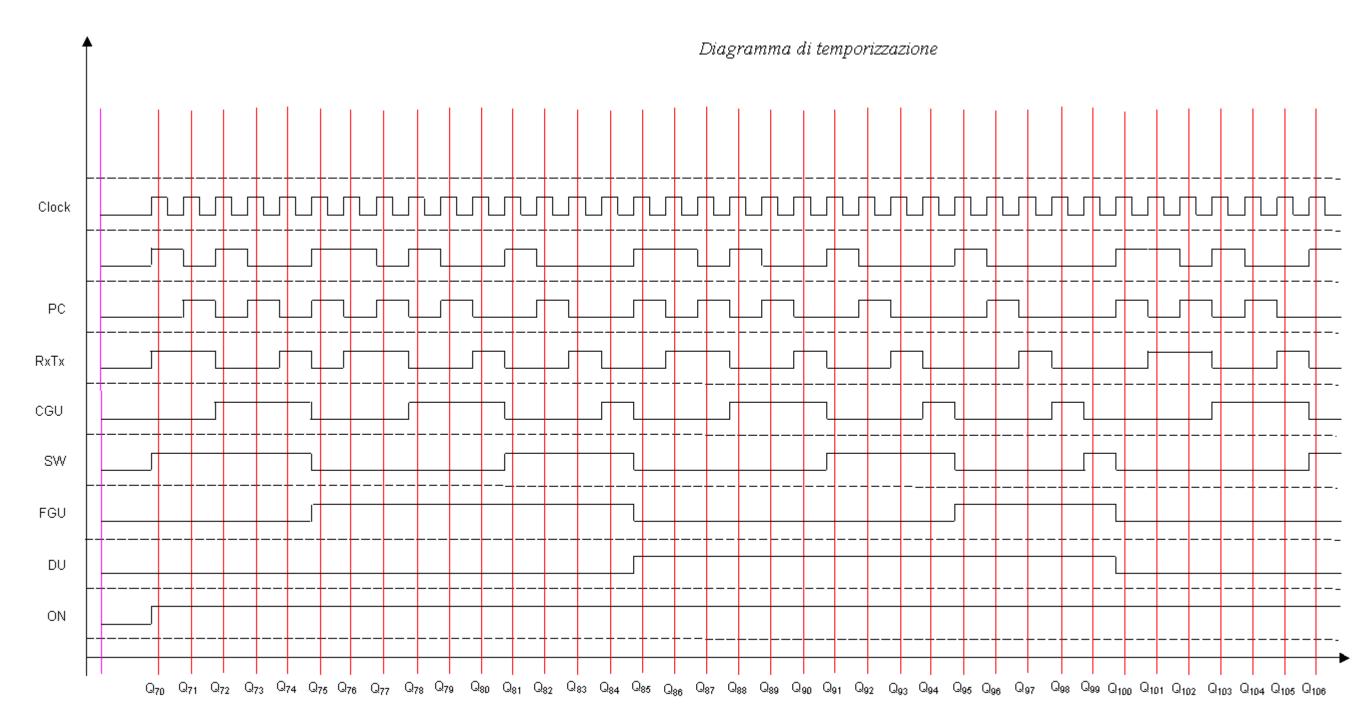


figura 1-22c

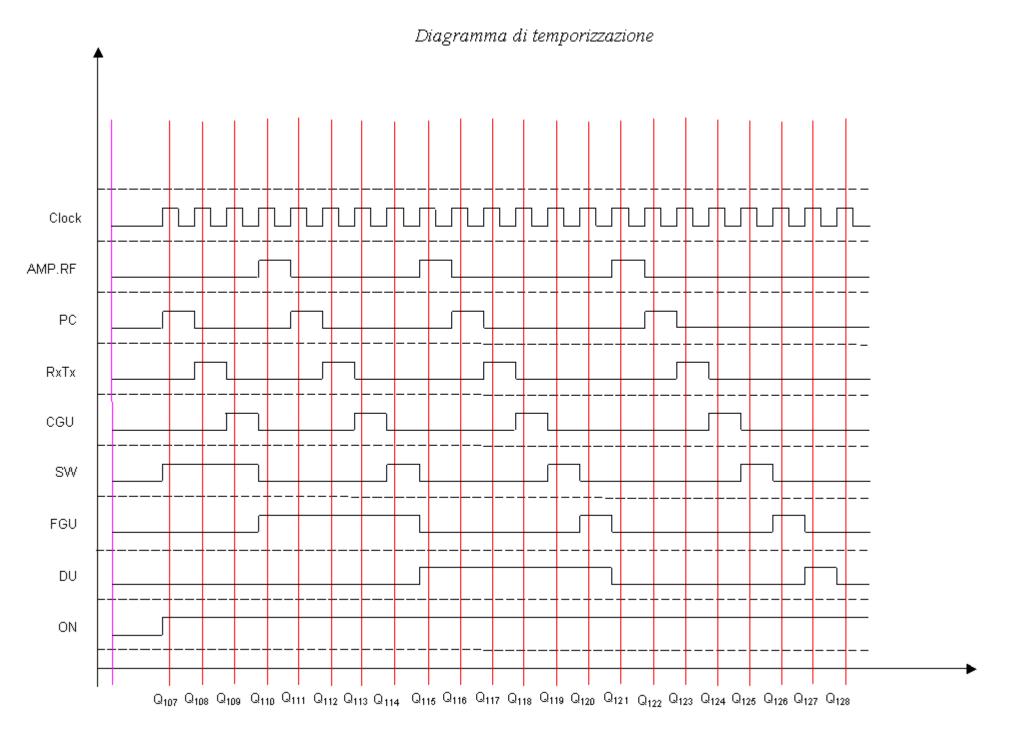


figura 1-22d

CAPITOLO 2

STATO DELL'ARTE E CENNI TEORICI

2.1 ALIMENTATORI CONTROLLATI

Gli alimentatori sono circuiti che consentono la regolazione della tensione e della corrente.

La parola regolazione rende chiara la presenza di tecniche di controllo, indipendentemente dal fatto che si raddrizzi, s'inverta, si regoli o si vari la tensione o i livelli di corrente.

Il controllo della potenza fornita al carico, può essere ottenuto facendo assorbire al circuito di controllo la potenza in eccesso, oppure utilizzando tecniche che minimizzino la dissipazione di potenza nel dispositivo di controllo.

In funzione delle tecniche di controllo e quindi delle circuiterie ad esse associate, gli alimentatori si dividono, essenzialmente, in due tipologie: lineari e a commutazione o switching.

- Un regolatore lineare è un circuito di alimentazione che si interpone tra la sorgente di ingresso e l'uscita agendo quale resistenza che partiziona la potenza elettrica per trasferirne solo l'ammontare desiderato. Una rete di retroazione controlla il valore di questa resistenza, con lo scopo di mantenere la tensione in uscita costante al variare delle condizioni di carico.
- Un regolatore di tipo switching è quello in cui il flusso principale della corrente viene generato e controllato per mezzo di dispositivi di commutazione.

Confrontando i due tipi di alimentatore si vede che, nel controllo dissipativo di tensione o di corrente, si dissipa deliberatamente della potenza. L'elemento dissipativo, che è spesso un transistor di potenza, assolve il compito di assorbire la potenza in eccesso e ciò, naturalmente, comporta dei problemi di rimozione del calore. Non importa quanto sia sofisticata l'elettronica di controllo di tali tipi di alimentazione, rimane sempre il fatto che l'elemento dissipativo funziona come reostato, che rappresenta un modo grossolano di controllare la potenza.

Nel tipo di alimentazione switching, un dispositivo di commutazione sostituisce il dispositivo dissipativo. Il controllo della regolazione della potenza viene ottenuto variando la frequenza di ripetizione dell'interruttore, piuttosto che agendo sulla resistenza.

Nella seguente tabella 2-1 sono paragonati i due tipi di alimentatore.

| TABELLA 2-1 | | | | | | | | |
|---------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|
| CARATTERISTICHE | Confronto Tecniche TIPO SWITCHING | TIPO LINEARE | | | | | | |
| Rendimento | Normale: da 65% a 85% | Normale: da 25% a 50% | | | | | | |
| Aumento della temperatura | Da 20 °C a 40 °C è nella norma | Abbastanza normale da 50 °C a 100 °C; dipende dalle tecniche di rimozione del calore | | | | | | |
| Ripple | 20÷50 mV picco picco | 5 mV picco picco | | | | | | |
| Regolazione totale | 0.3% | 0.1% | | | | | | |
| Peso | 13.6 watt per Kg | 4.5÷6.8 watt per Kg | | | | | | |
| Volume | 1 pollice cubo per watt | 2÷3 pollici cubi per watt | | | | | | |
| Affidabilità | Maggior impiego di componenti, ma minore temperatura di esercizio che migliora l'affidabilità | Elevata temperatura di funzionamento che spesso ne compromette l'affidabilità | | | | | | |
| Costo | Più costosi dei lineari | Economici, per potenze elevate il vantaggio si riduce | | | | | | |

Dall'analisi della tabella 2-1, sottolineando l'esigenza di rendere sempre più compatte le dimensioni dei power supply unita alla necessità di aumentare il rendimento, soprattutto per prolungare la durata delle batterie nelle applicazioni portatili, la scelta ricade, inequivocabilmente, sui circuiti switching. Per evidenziare ulteriormente la bontà delle conclusioni fatte, si riporta, nel grafico di figura 2-1, il paragone tra l'efficienza dei due tipi di regolatori, lineare e switching, entrambi caratterizzati da una tensione d'ingresso fissa a 30V per una tensione di uscita variabile tra 3÷28V.

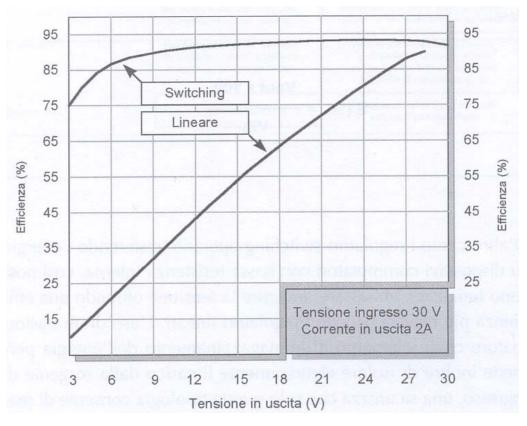


figura 2-1

2.2 CONVERTITORI DC-DC A COMMUTAZIONE

I convertitori dc-dc a commutazione sono impiegati per trasformare la tensione continua d'ingresso non regolata in una tensione d'uscita regolata al livello desiderato. Come è mostrato nella figura 2-2, la tensione d'ingresso non regolata può essere ottenuta in modi diversi.

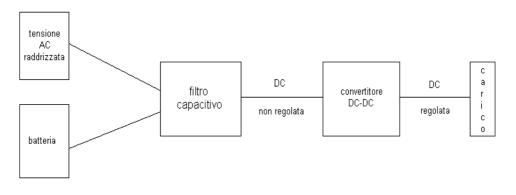
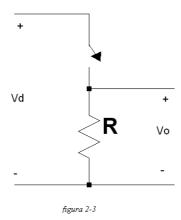


figura 2-2

Una delle tecniche più comuni per la commutazione di tensioni continue, implica l'impiego dell'equivalente elettronico dell'interruttore meccanico unipolare. In questo tipo di convertitori, la tensione media di uscita è controllata regolando i tempi di apertura e chiusura (t_{on} e t_{off}) dell'interruttore. Il concetto di conversione, mediante l'utilizzo di un interruttore, è meglio spiegato facendo riferimento al circuito elementare di figura 2-3:



Il valore medio V_o della tensione di uscita v_o dipende da t_{on} e t_{off} . Uno dei metodi per controllare la tensione di uscita impiega una frequenza di commutazione costante, quindi il periodo di commutazione $T_S = t_{on} + t_{off}$ risulta costante e modifica la durata della chiusura dell'interruttore. In questa tecnica, detta modulazione a larghezza d'impulso PWM (Pulse Width Modulation), viene variato il fattore di utilizzazione D, detto *duty cycle*, definito come:

$$D = \frac{t_{on}}{T_S}$$

rapporto tra il tempo di chiusura e periodo di commutazione. La tensione media di uscita può essere calcolata in funzione del duty cycle e quindi, con riferimento all'andamento della tensione di uscita riportata in figura 2-4, si ha:

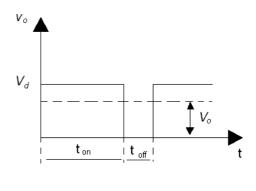


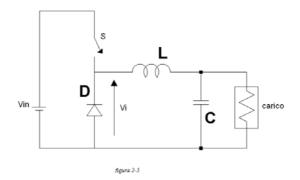
figura 2-4

$$V_{o} = \frac{1}{T_{S}} \cdot \int_{0}^{T_{S}} v_{o}(t)dt = \frac{1}{T_{S}} \left(\int_{0}^{t_{on}} V_{d} dt + \int_{t_{on}}^{t_{off}} 0 dt \right) = \frac{t_{on}}{T_{S}} \cdot V_{d} = D \cdot V_{d}$$

Variando il duty cycle dell'interruttore si riesce a controllare V_o. L'interruzione della corrente mediante l'utilizzo dell'interruttore è responsabile di gran parte della generazione del rumore, ma tali effetti possono essere soppressi mediante l'ausilio di filtri.

• Buck Converter o Step down

Il buck converter è un convertitore che restituisce una tensione di uscita, in modulo, inferiore a quella ingresso. Per analizzare nel dettaglio il suo funzionamento, si partirà da una situazione ideale, per poi apportare degli accorgimenti al circuito di partenza, che permettano di eliminare tutte le ipotesi di idealità e gli inconvenienti del circuito stesso. Con riferimento al circuito di figura 2-5 si ha:



I componenti sono:

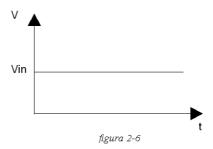
- L'interruttore è supposto ideale:
 - 1. Tempo di chiusura t_{on}=0.
 - 2. Tempo di apertura $t_{off} = 0$.
 - 3. Non offre resistenza quando è attraversato da corrente.
 - 4. Nel caso limite di corto circuito è capace di sopportare corrente infinita.
- L e C sono privi di perdite.
- D ha reverse recovery time $t_{rrt}=0$.

Le ipotesi per l'analisi del circuito sono:

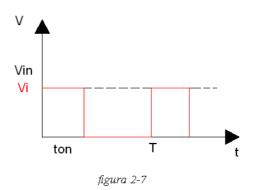
- Linearità del circuito.
- ullet La tensione V_{in} è supposta costante.
- Il carico è considerato puramente resistivo.

Il funzionamento del circuito è:

La tensione d'ingresso ha il seguente andamento:



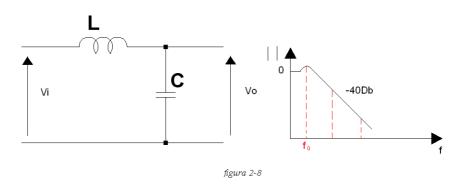
La tensione V_i avrà un andamento che dipende dallo stato dell'interruttore S, infatti detta T la somma del tempo di apertura e chiusura dell'interruttore (fig. 2-7).



Quando S è chiuso, il diodo D è interdetto, la corrente circola nell'induttore e quindi nel carico; quando S è aperto, la variazione di corrente, che passa dal valore nominale a zero, genera nell'induttore una inversione di tensione ai suoi capi, data dalla relazione $v_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}$, che polarizza direttamente il diodo e, di conseguenza, offre una via di fuga alla corrente. La presenza del diodo, detto appunto diodo di free wheeling, è quindi dettata dalla necessità di salvaguardare l'interruttore, che, senza il

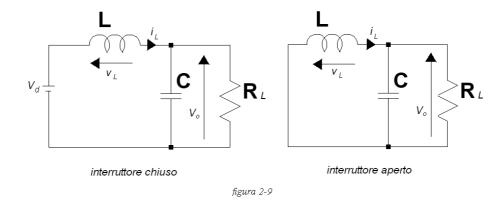
diodo, sarebbe soggetto alla formazione di archi che porterebbero alla distruzione dell'interruttore stesso. Oltre ad essere un salvavita per l'interruttore, il diodo permette di trasferire l'energia immagazzinata dall'induttore durante il periodo di conduzione t_{on} al carico, quindi il diodo permette al filtro LC di funzionare da vero e proprio serbatoio di energia.

Il filtro LC svolge un filtraggio passa basso, esso è un filtro del secondo ordine con pulsazione di taglio pari a $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$ (fig. 2-8).



Essendo il segnale d'ingresso un segnale periodico di periodo T, il suo spettro sarà una sequenza di impulsi, quindi, realizzando il filtro con una frequenza di taglio molto più piccola della frequenza di commutazione, si riuscirà ad attenuare fortemente la componente alternativa.

Si considerino i circuiti di figura 2-9, che rappresentano i casi di interruttore aperto e chiuso.



La capacità C è supposta infinita, in modo tale da poter considerare la tensione di uscita del filtro LC costante a regime e poter, quindi, trascurare il ripple presente sulla componente continua della tensione.

Essendo V_{o} e V_{d} costanti, la corrente nell'induttore varierà linearmente nel tempo:

$$\begin{cases} v_L = V_d - V_o = V_L \\ v_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \end{cases} \Rightarrow i_L = \frac{V_L}{L}t + i_{L0}$$

in particolare, quando l'interruttore è chiuso sarà crescente, $V_L>0$, quando l'interruttore è aperto sarà decrescente, $V_L<0$.

Nel primo periodo di funzionamento si suppone che, per t=0, instante di prima chiusura dell'interruttore, le condizioni iniziali del circuito siano:

- $i_L = 0$
- \bullet $i_C = 0$
- $\bullet \qquad V_C = V_o = 0$

Si ha che $V_L(0)=V_d$ e quindi la corrente i_L varia con legge lineare e ha pendenza $\frac{V_d}{L}$. Nel momento in cui si apre l'interruttore $V_L(t)=-V_o(t)$, quindi è la capacità a fornire energia al circuito, di conseguenza la tensione decresce con legge esponenziale. La diminuzione di V_L fa decrescere la corrente con una pendenza più bassa di $\frac{V_d}{L}$, in quanto V_L è di valore inferiore, perché è la capacità a fornire energia al circuito. Quando l'interruttore si chiude nuovamente, la tensione ai capi dell'induttore sarà $V_L=V_d-V_o$, in quanto la capacità ha accumulato una parte di carica e la pendenza di i_L sarà $\frac{V_d-V_o}{L}$. Dopo un tempo transitorio, il circuito raggiungerà lo stato di regime permanente e quindi non si avranno più variazioni di pendenza della i_L . L'andamento di V_L e i_L a regime permanente è riportato nei grafici di figura 2-10:

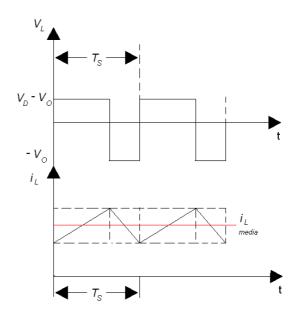


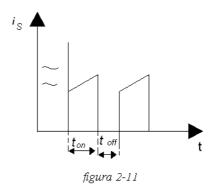
figura 2-10

Dalla definizione di regime permanente, si evince che il valore medio della tensione V_L su un periodo deve essere nullo:

$$\int_{0}^{T_{S}} v_{L} dt = \int_{0}^{t_{on}} (V_{d} - V_{o}) dt + \int_{t_{on}}^{T_{S}} (-V_{o}) dt = 0 \Rightarrow (V_{d} - V_{o}) \cdot t_{on} = V_{o} (T_{S} - t_{on}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_{o}}{V_{J}} = \frac{t_{on}}{T_{S}} = D$$

Si valuti, ora, il rendimento del circuito non modificando le ipotesi fatte finora. L'andamento della corrente nell'interruttore è quello riportato nella figura 2-11:

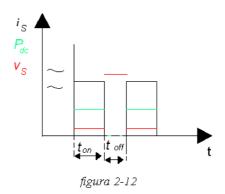


la potenza trasferita al carico risulta uguale a quella di ingresso, quindi il rendimento è unitario.

Si inizi a rimuovere l'ipotesi di interruttore ideale, considerando la resistenza dell'interruttore non nulla quando è attraversato da corrente.

Sono state introdotte delle perdite durante la conduzione, che saranno chiamate P_{dc} , potenza dissipata durante la fase di conduzione.

Il tutto è riportato nel grafico seguente (fig. 2-12):



Andando a rimuovere anche l'ipotesi di commutazione istantanea dell'interruttore, ci si trova a dover considerare un'ulteriore potenza dissipata che sarà chiamata $P_{d_{comm}}$ (fig. 2-13).

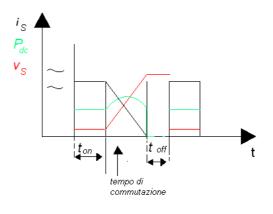


figura 2-13

Si deve, quindi, limitare il più possibile P_{dc} e $P_{d_{comm}}$, per poter massimizzare il rendimento.

Si ricavi una relazione simile a $V_o = D \cdot V_d$ per le correnti, cioè, una relazione che leghi la corrente erogata dalla batteria e quella assorbita dal carico.

Ritornando alle ipotesi di assenza di elementi dissipativi nel circuito, si vuole che la potenza erogata dalla batteria sia completamente trasferita al carico, quindi si ha:

$$V_d \cdot I_d = V_o \cdot I_o \Rightarrow \frac{I_o}{I_d} = \frac{V_d}{V_o} = \frac{1}{D} \Rightarrow I_o = \frac{1}{D} \cdot I_d$$

Dalle due relazioni $V_o = D \cdot V_d$ e $I_o = \frac{1}{D} \cdot I_d$ si deduce che il buck converter si comporta come se fosse una sorta di trasformatore in continua, con rapporto di trasformazione pari a D.

Aumentando la resistenza di carico R_L , per mantenere costante la tensione di uscita V_o , la corrente i_L deve diminuire. Graficamente si ha (fig. 2-14):

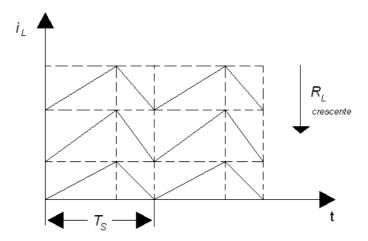
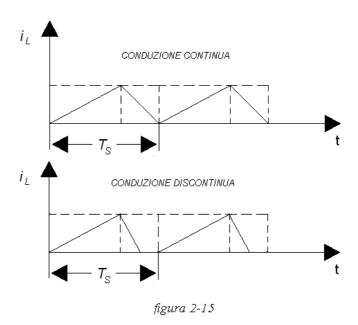


figura 2-14

Dal grafico di figura 2-14 si vede che all'aumentare di R_L , si raggiunge la situazione $i_L(0) = i_L(T_S) = 0$, il valore di R_L che realizza la suddetta situazione segna il confine tra due modi di funzionamento del convertitore:

- la conduzione continua, caratterizzata dal fatto che la corrente nell'induttore è sempre diversa da zero.
- la conduzione discontinua, caratterizzata dal fatto che in alcuni intervalli di tempo la corrente nell'induttore è nulla.

Graficamente:



Si analizzi, ora, la situazione limite, caratterizzata da $i_L(0) = i_L(T_S) = 0$, valutandone il valore medio della corrente i_L , che sarà chiamato i_{LB} :

$$\langle i_{LB} \rangle = \frac{1}{2} \cdot i_{L_{picco}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_d - V_o}{L} \right) \cdot t_{on} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_d - V_o}{L} \right) \cdot D \cdot T_S = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_d}{L} \left(1 - D \right) \cdot D \cdot T_S$$

Si ricorda che sussiste l'ipotesi che la capacità abbia valore infinito, ciò per sottolineare che nel carico circola solo la componente continua della corrente i_L . Questa considerazione serve a precisare che la corrente i_{LB} è continua, pertanto:

$$\langle i_{LB} \rangle = I_{0B} = \frac{1}{2L} \cdot V_d \cdot (1-D) \cdot T_S \cdot D$$

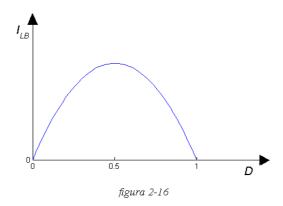
Fissati V_d e D, si può scegliere, come punto di riferimento per il funzionamento limite, la corrente, I_{0B} , in quanto, se nel carico dovesse circolare una corrente inferiore a I_{0B} , si lavorerà in modalità di conduzione discontinua, viceversa, se la corrente nel carico fosse maggiore di I_{0B} , in modalità di conduzione continua.

Per analizzare la modalità di funzionamento discontinuo è necessario fare alcune considerazioni. Si è visto che, aumentando il valore del carico R_L , superato il limite di funzionamento in conduzione continua, per mantenere costante V_o , la i_L diminuisce, scaricando completamente L e determinando un comportamento non lineare del circuito. Questo invalida le relazioni che legavano tensione e corrente d'ingresso e di uscita al duty cycle, trovate in precedenza, inducendo a cercarne delle nuove che tengano conto degli effetti, dovuti ad una conduzione discontinua. I parametri che si possono variare nel convertitore sono essenzialmente tre: V_o , V_d e D, facendone variare due tra questi, mantenendone costante uno, si ottengono le caratteristiche del convertitore.

Partendo dalla relazione trovata in precedenza:

$$\langle i_{LB} \rangle = I_{0B} = \frac{1}{2L} \cdot V_d \cdot (1-D) \cdot T_S \cdot D$$

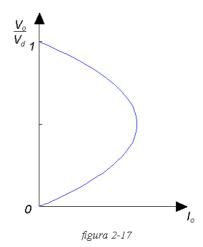
Trovandosi al limite tra la regione di conduzione continua e discontinua è ancora valida la relazione $V_o = D \cdot V_d$. Considerando D variabile, l'equazione che descrive l'andamento di I_{LB} è una parabola (fig. 2-16).



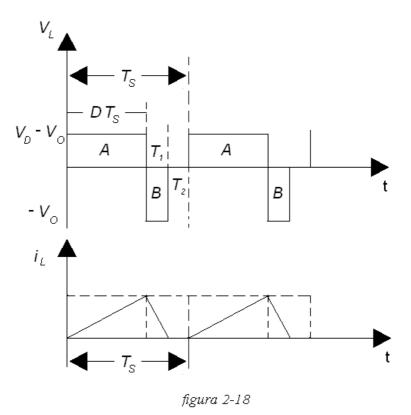
Il valore massimo si ha per D=0.5 ed è pari a $I_{LB\,\mathrm{max}}=\frac{T_S\cdot V_d}{8L}$.

Per valori di i_L che cadono all'esterno della parabola si lavora in modalità di conduzione continua, viceversa in modalità di conduzione discontinua.

Si può considerare I_o variabile e con $\frac{V_o}{V_d} = D$ si ha (fig. 2-17):



Si analizzi, a questo punto, la conduzione discontinua ricavando il legame tra tensione e corrente al variare del duty cycle. Gli andamenti di tensione e corrente nell'induttore sono quelli di figura 2-18:



L'area dei rettangoli A e B deve essere uguale perché a regime vale che $i_L(nT_S) = i_L((n+1)T_S)$, quindi, definito l'intervallo $T_1 = \Delta T_S$ si ha:

$$\int\limits_{DT_S} (V_d - V_o) dt + \int\limits_{\Delta_1 T_S} (-V_o) dt = 0 \Longrightarrow (V_d - V_o) \cdot D \cdot T_S = V_o \cdot \Delta_1 \cdot T_S \Longrightarrow$$

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{D + \Delta_1}$$

si ottiene, quindi, la relazione tra tensione e duty cycle nella modalità discontinua. A questo punto, si vuole ricavare una relazione che esprima il legame tra tensione di ingresso e tensione di uscita in funzione del duty cycle e della corrente di uscita. Si inizi dal legame tra I_o e Δ_1 .

$$\begin{split} I_o = & < i_L(t) > = \frac{1}{T_S} \int\limits_0^{T_S} i_L(t) dt = \frac{1}{T_S} \left[\frac{i_{L_{picco}}}{2} DT_S + \frac{i_{L_{picco}}}{2} \Delta_1 T_S \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow I_o = & \frac{i_{L_{picco}}}{2} \cdot \left(D + \Delta_1 \right) \end{split}$$

Il valore $i_{L_{picco}}$ si può ricavare dalla relazione $v_L = L \frac{di_L}{dt}$, infatti:

$$-V_{o} = L\frac{di_{L}}{dt} \Rightarrow -V_{o}dt = Ldi_{L} \Rightarrow -\int_{\Delta_{1}T_{S}} V_{o}dt = L\int_{I_{L_{picco}}}^{0} di_{L} \Rightarrow i_{L_{picco}} = \frac{V_{o}\Delta_{1}T_{S}}{L}$$

questo comporta che:

$$I_o = \frac{i_{L_{picco}}}{2} \cdot (D + \Delta_1) = \frac{V_o T_S \Delta_1}{2L} (D + \Delta_1) = \frac{\Delta_1 T_S V_d D}{2L}$$

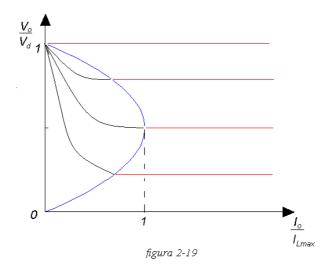
ricordando che $I_{LB \max} = \frac{T_S \cdot V_d}{8L}$ si ha:

$$I_o = 4D\Delta_1 I_{LB\,\mathrm{max}} \Rightarrow \frac{I_o}{I_{LB\,\mathrm{max}}} = 4D\Delta_1 \Rightarrow \Delta_1 = \frac{I_o}{4DI_{LB\,\mathrm{max}}}$$

Ottenuto il legame tra I_o e Δ_1 e sostituendolo nella relazione $\frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{D + \Delta_1}$ si ha:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{D^2}{D^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{I_o}{I_{LB \,\text{max}}}\right)}$$

Normalizzando rispetto a $I_{LB\,\mathrm{max}}$, si può tracciare un unico grafico, figura 2-19 che tenga conto sia della DCM, discontinuos current mode, che della CCM, continuos current mode.



Dal grafico si evince che fissato D, dato che V_d è costante, V_o aumenta al diminuire della corrente.

A questo punto, si rimuova l'ipotesi di capacità infinita e si lavori in CCM.

La tensione ai capi del condensatore, a causa della rimozione dell'ipotesi di capacità infinita, non sarà più costante, ma presenterà un ripple. Si valuti il ripple considerando in primo luogo i grafici riportati in figura 2-20:

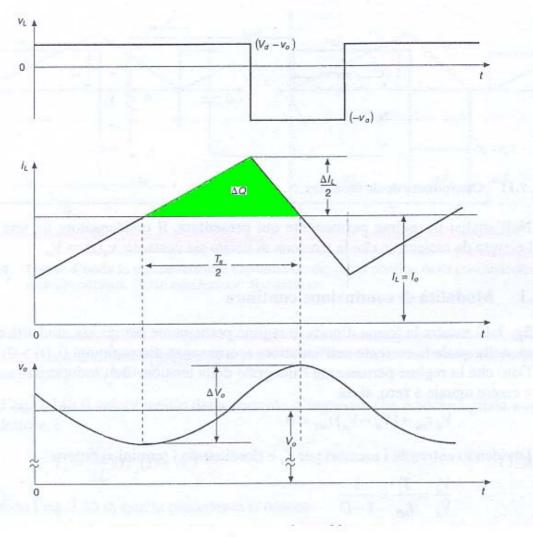


figura 2-20

La variazione di tensione ai capi del condensatore è espressa dalla relazione $\Delta V_C = \frac{\Delta Q}{C}\,,$ la carica è espressa dall'area in verde della figura in alto, quindi il ripple è uguale a:

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{Area}{C} = \frac{i_C(t) \cdot \Delta t}{C} = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{T_S}{2} \cdot \frac{\Delta I_L}{2}$$

durante il t_{off} si ha che:

$$\Delta I_L = \frac{V_o}{L} \cdot (1 - D) \cdot T_S$$

sostituendo si ha:

$$\Delta V_o = \frac{T_S^2 \cdot V_o \cdot (1 - D)}{8 \cdot C \cdot L} \Rightarrow \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{T_S^2 (1 - D)}{8 \cdot C \cdot L}$$

Osservando, inoltre, che la frequenza di risonanza del filtro LC è:

$$f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

e ricordando che $f_S = \frac{1}{T_S}$ si ha:

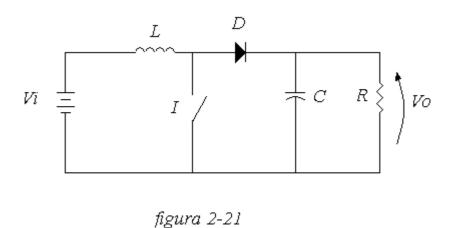
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{\pi^2}{2} \cdot (1 - D) \cdot \left(\frac{f_c}{f_S}\right)^2$$

Il ripple di tensione può essere reso minimo scegliendo la frequenza di taglio f_c del filtro passa basso in modo che sia $f_c << f_S$. Si nota che il ripple è indipendente dalla potenza assorbita dal carico in uscita, purché il convertitore funzioni in modalità CCM.

L'analisi approfondita del circuito buck converter offre una metodologia per risolvere tutti i tipi di circuiti realizzabili in tecnica switching, pertanto, nell'esposizione dei restanti circuiti, verranno solo riportati lo schema circuitale ed i grafici notevoli.

• Boost converter o Step up

La tensione fornita in uscita è maggiore, in modulo di quella di ingresso. Il circuito è (fig. 2-21):



Il funzionamento è simile al buck converter. Infatti, anche in questo caso, l'energia immagazzinata nell'induttore viene trasferita al condensatore. Quando l'interruttore si chiude, la corrente nell'induttore aumenta rapidamente, poiché ad esso viene applicata la tensione di alimentazione, il diodo è interdetto. All'apertura dell'interruttore, per la veloce variazione di corrente nell'induttore, il diodo entra in conduzione, caricando il condensatore. Poiché l'energia immagazzinata nell'induttore è $E_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I$, il circuito modulatore di larghezza di impulso (PWM), può fare aumentare la tensione in uscita, aumentando il suo tempo di attività per incrementare la corrente di picco nell'induttore prima della commutazione. La relazione ingresso uscita è:

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{T}{T - t_{on}}$$

Nella figura 2-22 sono riportate le forme d'onda di tensione e correnti del circuito.

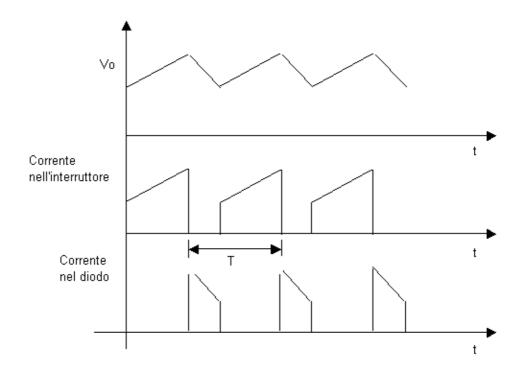


figura 2-22

• Invertitore o Buck-Boost

In figura 2-23 è mostrato il circuito invertitore che produce una tensione in uscita di polarità opposta a quella della tensione di entrata. Questo circuito lavora allo stesso modo del convertitore boost e l'inversione della tensione viene ottenuta cambiando le posizioni dell'interruttore e dell'induttore.

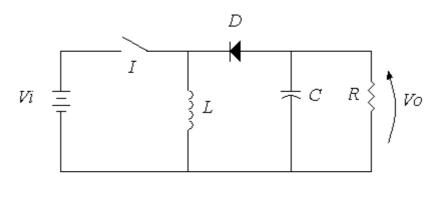
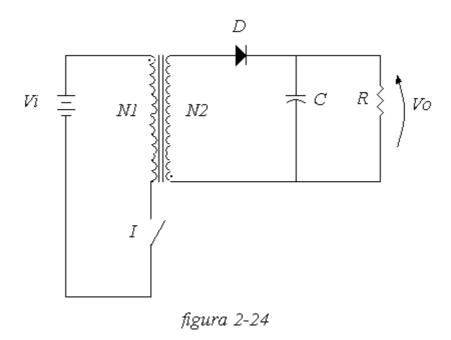


figura 2-23

Convertitore Fly-back

Il convertitore fly-back, illustrato in figura 2-24, viene comunemente usato per potenza fino ai 150W. Poiché il trasformatore lavora a frequenza piuttosto alta, le sue dimensioni sono molto piccole rispetto a quelle dei più comuni trasformatori operanti alla frequenza di 50Hz/60Hz. Il principio di funzionamento è basato su quello del convertitore boost. Il trasformatore può essere considerato come un induttore con due avvolgimenti, uno per immagazzinare energia nel nucleo del trasformatore, l'altro per scaricare l'energia del nucleo nel condensatore di uscita. La corrente, nell'avvolgimento primario del trasformatore, aumenta durante il tempo di chiusura dell'interruttore, però, nel secondario, non scorre alcuna corrente, perché la tensione ai capi dell'avvolgimento secondario polarizza inversamente il diodo D. Quando l'interruttore si apre, le polarità delle tensioni nel trasformatore si invertono poiché il

suo campo magnetico deve mantenere il flusso di corrente. A questo punto, la corrente è libera di circolare e caricare il condensatore.

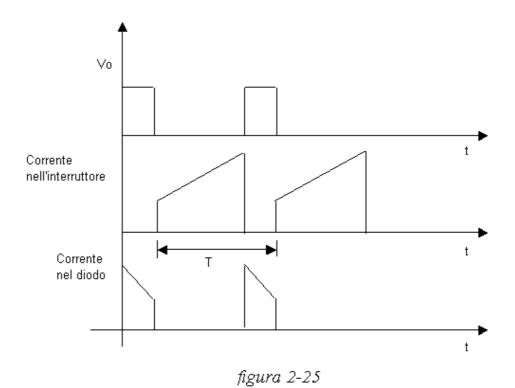


La relazione ingresso uscita è:

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{T}{T - t_{on}} \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

Il controllo della tensione viene ottenuto regolando il tempo di chiusura dell'interruttore, in modo da contenere la corrente di picco nell'avvolgimento primario.

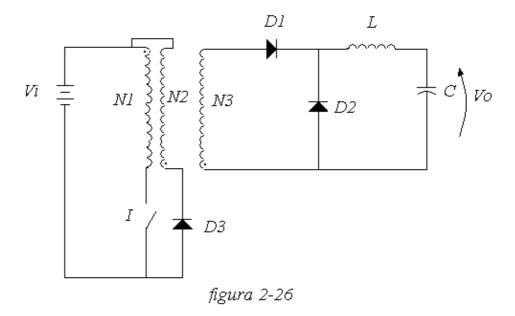
Nella figura 2-25 sono riportate le forme d'onda di tensione e la correnti del circuito.



2-28

Convertitore Forward

Il circuito di base del convertitore forward è riportato in figura 2-26.



Quando l'interruttore è chiuso, la corrente, nell'avvolgimento primario del trasformatore, aumenta in modo lineare e quella nel secondario fluisce, attraverso il diodo D_1 , nell'induttore e nel condensatore. Quando l'interruttore è aperto, la corrente dell'induttore continua a circolare liberamente attraverso il condensatore ed il diodo D_2 . La funzione dell'avvolgimento N_3 e del diodo D_3 , è trasferire l'energia magnetizzante dal nucleo del trasformatore alla sorgente a corrente continua, evitando che venga dissipata. Il rapporto $\frac{N_3}{N_1}$ limita la tensione di picco vista dall'interruttore e,

di norma, è scelto pari ad 1. La relazione ingresso uscita è:

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{T} \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

Nella figura 2-27 sono riportate le forme d'onda di tensione e la correnti del circuito.

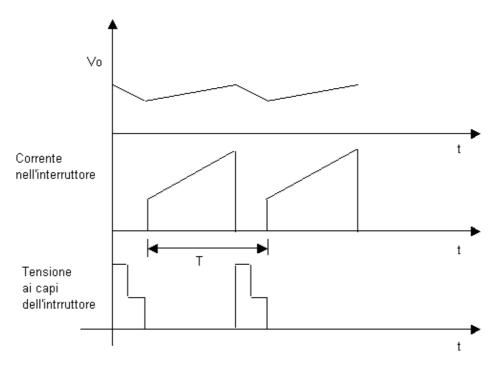


figura 2-27

• Convertitore Push-Pull

Il circuito del convertitore è (fig. 2-28):

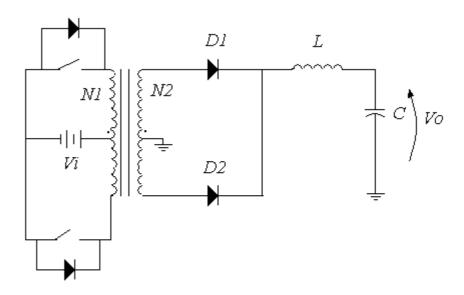


figura 2-28

Gli interruttori I_1 e I_2 vengono alternativamente chiusi per un tempo t_{on} . Il trasformatore viene così sottoposto ad una tensione con alternanza di polarità al fine di ottenere il massimo vantaggio. La relazione ingresso uscita è:

$$V_o = 2 \cdot V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{T} \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

E' necessaria la considerazione di un intervallo di tempo, detto tempo morto, di attesa tra la chiusura di un interruttore e l'apertura dell'altro, al fine di evitare che entrambi gli interruttori conducano contemporaneamente.

2.3 MICROCONTROLLORI

Il microcontrollore è un dispositivo che include in un unico chip un processore ed un insieme di dispositivi. Infatti, esso è un sistema a microprocessore completo, progettato per ottenere la massima autosufficienza funzionale ed ottimizzare il rapporto prezzo-prestazioni per applicazioni specifiche. E' essenzialmente composto da:

- Una CPU (Central Processor Unit) ovvero un'unita' centrale di elaborazione, il cui scopo è interpretare le istruzioni di programma.
- Una memoria RAM (Random Access Memory) utilizzata per memorizzare le variabili utilizzate dal programma.
- Una memoria **EPROM o EEPROM o OTP** in cui sono memorizzate in maniera permanente le istruzioni del programma da eseguire.
- Una serie di **LINEE DI I/O** (Input/Output) ovvero linee d'ingresso e uscita per pilotare dispositivi esterni o ricevere impulsi da sensori, pulsanti, ecc.
- Una serie di dispositivi ausiliari al funzionamento quali generatori di clock, bus, contatori, ecc.

Nel seguente schema di figura 2-29 si riportano alcune tra le principali caratteristiche di un microcontrollore:

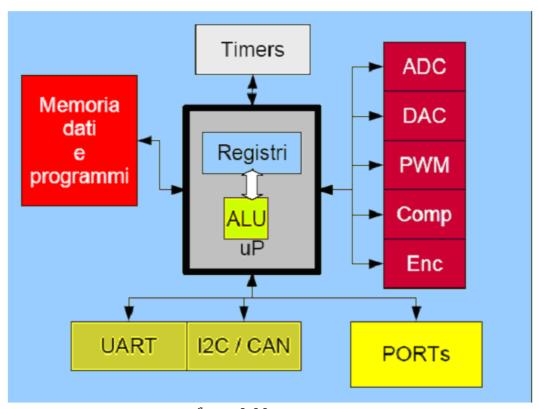


figura 2-29

La presenza di tutti questi dispositivi, in uno spazio estremamente contenuto, consente al progettista di avvalersi degli enormi vantaggi derivanti dall'uso di un sistema a microcontrollore. Anche in quei circuiti, che, fino a poco tempo fa, erano destinati ad essere realizzati con circuiterie tradizionali. Inoltre, i microcontrollori offrono la possibilità di comunicare con altri dispositivi riuscendo a gestire le situazioni più complesse.

Essi si prestano, per la loro architettura, ad operazioni di controllo, acquisizione ed elaborazione di segnale, potendo, tramite software, riuscire a gestire diverse operazioni. Nell'ambito delle applicazioni dedicate agli alimentatori, i microcontrollori possono realizzare, con dei costi molto contenuti e delle prestazioni elevate, sia delle semplici

operazioni di monitoraggio, quali la misurazione di tensioni, correnti e potenze, sia delle vere e proprie operazioni di controllo come, ad esempio, l'individuazione di corto circuiti, la gestione di sovraccarichi e mal funzionamenti in genere.

A questo punto, è bene effettuare una breve panoramica che porti a caratterizzare un microcontrollore.

I microcontrollori sono generalmente realizzati con un processo HCMOS statico, che consente al clock di essere variato da DC fino alla massima velocità, senza controindicazioni; questo permette di legare il consumo di energia alle prestazioni specifiche del sistema, in quanto la potenza dinamica assorbita è strettamente legata al clock del sistema.

Possiamo discutere le prime differenze, facendo una distinzione tra le architetture CISC e RISC.

La RISC, dall'inglese Reduced Instruction Set Computer, computer con insieme ridotto di istruzioni, come dice la parola stessa, indica un tipo di architettura di CPU che esegue un numero ridotto di istruzioni rispetto alla CISC. L'architettura RISC nasce, negli anni sessanta, dall'idea di fornire al processore poche istruzioni, ma interamente implementate in hardware, in modo da semplificare la vita ai compilatori, che iniziavano ad avere difficoltà a fornire al processore istruzioni macchina dedicate. Questo tipo di architettura è molto utilizzata nei microcontrollori a "medie-alte prestazioni". Il tempo di esecuzione è identico per tutte le istruzioni, che generalmente vengono eseguite in pochi cicli di clock. Ciò, permette di avere clock elevati e tempi bassi di esecuzione di una istruzione. Infatti, le istruzioni a lunghezza fissa sono implementate direttamente dall'hardware, perciò non sono necessarie interpretazioni intermedie, effettuate dai microprogrammi presenti nei processori con architettura CISC. Le operazioni, che richiedono l'accesso alla memoria principale sono solo quelle per il caricamento dei comandi (load) e per il salvataggio dei risultati (store). In questo modo, il calcolo avviene con l'utilizzo dei soli registri interni del processore, comportando un guadagno nella velocità di elaborazione. Questo fattore rende, però, il codice molto lungo.

L'architettura *CISC*, acronimo di Complex Instructions Set Computer, calcolatore con insieme di istruzioni complesse, è un tipo di architettura di CPU che esegue un insieme di istruzioni molto più complesse di quelle delle CPU RISC. Il termine CISC nasce con l'avvento delle architetture RISC. Lo sviluppo di questa tecnologia è dovuto alla grossa necessità di limitare lo spazio di memoria occupato dai programmi, pur a discapito di un codice più lento e molto più complesso. Proprio i limiti dei compilatori a tradurre istruzioni complesse in istruzioni macchina dedicate, hanno contribuito allo sviluppo dell'architettura RISC. I processori CISC sono caratterizzati da un tempo di esecuzione diverso per ogni istruzione che può durare anche molti cicli di clock, il che comporta una lenta esecuzione delle istruzioni stesse. La complessità delle istruzioni richiede delle fasi intermedie di interpretazione effettuate dai microprogrammi, che rendono compatto il codice, ma riducono notevolmente i tempi di clock.

Fatta la prima differenza tra le architetture CISC e RISC, si possono effettuare ulteriori diversificazioni sull'organizzazione della CPU dei microcontrollori. La distinzione è tra architettura di Von Neumann e Harvard.

• Von Neumann

Questa architettura prende il nome dal matematico John Von Neumann. La struttura da lui sviluppata resta il punto di partenza e tuttora punto di riferimento per la progettazione e sviluppo di calcolatori elettronici. Lo schema della cosiddetta macchina di Von Neumann è:

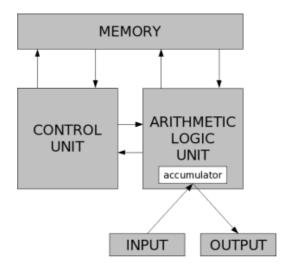


figura 2-30

Lo schema si basa su cinque componenti fondamentali:

- 1. CPU, che si divide in:
 - 1.1 ALU.
 - 1.2 Unità di controllo.
- 2. Unità di memoria.
- 3. Unità di input, tramite la quale vengono inseriti nel calcolatore i dati per essere elaborati.
- 4. Unità di output, necessaria affinché i dati elaborati possano essere restituiti all'operatore.
- 5. Bus, conduttore di collegamento fra tutti i componenti.

E' importante sottolineare che tale architettura si distingue dalle altre per la caratteristica di immagazzinare, all'interno dell'unità di memoria, sia i dati dei programmi in esecuzione che il codice di questi ultimi. La presenza di un unico

bus rende notevolmente lente le operazioni di calcolo. Per i microcontrollori questa architettura viene adottata solo in strutture di fascia bassa.

• Harvard.

L'architettura Harvard è un'architettura che separa la memorizzazione e la trasmissione dei dati da quella delle istruzioni.

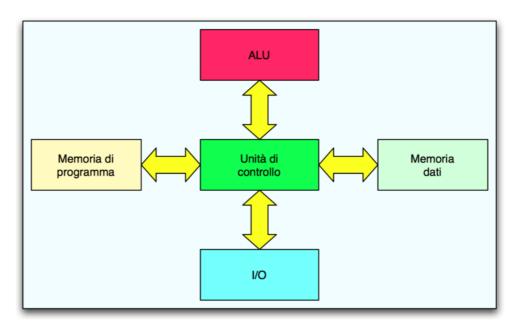


figura 2-31

In questo tipo di architettura, il processore è in grado di accedere in modo indipendente a dati e istruzioni, dato che questi sono separati e memorizzati in memorie, che spesso possono essere anche diverse. In particolare, in alcuni sistemi, la larghezza di parola delle istruzioni è superiore a quella dei dati e, in altri sistemi, i programmi sono memorizzati in una memoria a sola lettura (ROM), mentre i dati sono normalmente in una memoria a scrittura e lettura (RAM). Un'architettura Harvard, quindi, può eseguire più compiti in parallelo, dato che può scindere le operazioni di lettura o scrittura dati alle istruzioni. Tutto questo a

vantaggio della velocità del processore, che, negli ultimi anni, è aumentata in modo considerevole, cosa non avvenuta per le memorie. Per questo motivo, vengono inserite nella struttura delle memorie, dette cache, memorie temporanee estremamente veloci, che permettono il salvataggio delle istruzioni utilizzate più di frequente, in modo da non limitare troppo la velocità del processore con continui accessi alla memoria principale. Nei calcolatori moderni esistono due cache, una per i dati ed un'altra per le istruzioni. Questo tipo di architettura è spesso utilizzata in processori specializzati come i DSP. Inoltre, la maggior parte dei microcontrollori, utilizzati in applicazioni industriali adottano questa architettura, che, abbinata alla RISC, ottimizza il rendimento dei dispositivi.

Terminata la panoramica sulle architetture dei microcontrollori, si passa a descrivere quali parametri e caratteristiche possono differenziare le varie tipologie di prodotti offerti dal mercato.

• Frequenza di clock.

• Numero di I/O.

Esprime il numero di pin ingresso uscita che il microcontrollore mette a disposizione, la scelta è dettata dalle esigenze di controllo, specifiche per ogni applicazione.

Funzioni opzionali.

Le funzioni opzionali possono essere molteplici, convertitori analogico digitali, digitali analogici, interfacce di comunicazione tipo SPI, CAN, LIN, I²C, comparatori, PWM.

• Numero di bit.

Questo parametro indica quanti bit il processore elabora ogni volta. Considerando l'architettura di un microprocessore, analizzando lo schema di figura 2-32, è possibile approfondire il processo di elaborazione istruzioni e dati.

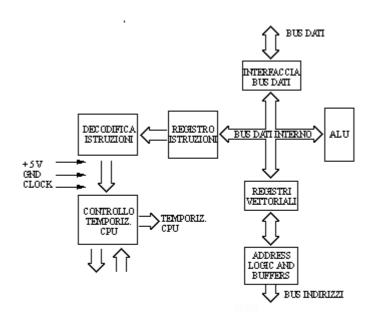


figura 2-32

- Decodifica e Istruzioni è l'unità di governo dell'intera CPU. In questa sede vengono prese tutte le decisioni sull'attività e la sincronizzazione, tramite segnali di temporizzazione, dei dispositivi interni ed esterni.
- Registro Istruzioni è un registro a n bit, contenente il codice operativo dell'istruzione in fase di esecuzione.
- *ALU* è un'unità aritmetico logica, a cui è demandato il compito di effettuare operazioni logiche e aritmetiche.
- Registri Interni sono registri organizzati in registri principali e speciali, che vengono utilizzati dalle varie unità.
- Buffer Dati costituisce l'interfaccia tra CPU e bus dati. Contiene temporaneamente il dato finché la UC non dispone di trasferirlo sul bus o nella CPU.

- Buffer Indirizzi rappresenta la medesima funzione del buffer dati con la differenza che il buffer indirizzi si interfaccia con il bus indirizzi.
- Bus Interno è un bus a n bit che consente la comunicazione tra i dispositivi interni della CPU, secondo le indicazioni del registro istruzioni, che deve gestire il trasferimento dei dati e controllare tutte le operazioni.
- Bus Dati è un bus bidirezionale a n bit preposto al trasferimento dei dati. E' questo registro che esprime la capacità di elaborazione del processore. Infatti, le n linee del bus, dove n esprime il numero di bit dell'architettura del processore, permettono al dato di viaggiare in un senso o nell'altro.
- Bus Indirizzi è un bus unidirezionale in uscita, perché è il registro istruzioni
 che genera ed invia gli indirizzi alla memoria o alle porte di I/O.

2.4 Protocollo di Comunicazione RS232

L'interfaccia RS-232 utilizza un protocollo seriale asincrono; il segnale elettrico è non bilanciato; il collegamento è di tipo point-to-point. Il significato di questi termini è:

- Seriale specifica che i bit, che costituiscono l'informazione, sono trasmessi sequenzialmente uno alla volta su di un solo "filo". Questo termine è in genere contrapposto a "parallelo", termine che indica una tipologia di trasmissione in cui i dati viaggiano contemporaneamente su più fili, per esempio 8, 16 o 32. Parlando astrattamente, si potrebbe pensare che la trasmissione seriale sia intrinsecamente più lenta di quella parallela (su di un filo possono passare meno informazioni che su 16...). In realtà, questo non è vero in assoluto, soprattutto a causa della difficoltà di controllare lo skew, cioè il disallineamento temporale tra i vari segnali, sempre presente nel caso di molti trasmettitori in un bus parallelo. Per esempio, in una fibra ottica, in un cavo ethernet, USB o FireWire, in un bus PCI-Express (tutti standard seriali) le informazioni transitano ad una velocità spesso superiore a quella di un bus PCI a 32 fili. In questa trattazione si parlerà solo di interfacce seriali "lente", cioè gestibili da PC e microcontrollori "normali"
- Asincrono significa, in questo contesto, che i dati sono trasmessi senza l'aggiunta di un segnale di clock, cioè senza alcun segnale comune tra trasmettitore e ricevitore destinato a sincronizzare il flusso di informazioni.
 Ovviamente, sia il trasmettitore che il ricevitore devono comunque essere dotati di un proprio clock locale per poter interpretare correttamente i dati.
- Un segnale <u>non bilanciato</u> (o single ended) è caratterizzato dal fatto che la tensione associata al bit, trasmesso o ricevuto, viene misurata rispetto ad un riferimento comune, detto massa. Nel caso dei segnali RS232 questa tensione può essere sia positiva che negativa.

 Una trasmissione è di tipo <u>point-to-point</u> quando nella comunicazione è presente, per ciascun segnale utilizzato, un solo trasmettitore ed un solo ricevitore. Tale termine può essere contrapposto a bus, che indica la situazione in cui, a fronte di un trasmettitore, esistono più ricevitori.

Il discorso continua parlando di velocità di trasmissione. Le unità di misura della velocità di trasmissione sono essenzialmente due: il baud ed il bit per secondo (bps o b/s).

- Il <u>baud</u> (o anche baud rate) indica il numero di transizioni al secondo che avvengono sulla linea. Esso è associato alla banda occupata dal segnale, inteso come segnale analogico. Il cavo utilizzato per la trasmissione viene dimensionato in funzione a tale valore: in teoria, serve una banda passante pari ad almeno la metà del baud rate, anche se, nella realtà, è bene utilizzare cavi con banda molto più ampia.
- Il <u>bps</u> indica, come dice il nome, quanti bit al secondo sono trasmessi lungo la linea. Questa è la velocità effettiva della trasmissione, vista dai dispositivi digitali.

Nel caso di trasmissione binaria (cioè quando sono presenti un livello di tensione alto ed uno basso) baud rate e bps coincidono numericamente, da cui la parziale equivalenza dei due termini. Nel caso di trasmissioni a più livelli, invece, è possibile trasmettere con una sola transizione più bit, ottenendo un baud rate minore a parità di informazioni trasmesse, ma guadagnando in termini di minore occupazione di banda a spese di una maggiore complicazione circuitale e peggioramento del rapporto segnale/rumore.

Lo standard RS232 utilizza due livelli, quindi il baud rate coincide numericamente con il bps.

I termini Half-duplex e full-duplex fanno riferimento alla situazione in cui due dispositivi si scambiano informazioni tra di loro, comportandosi entrambi sia da sorgente di informazioni (cioè da talkner o, in sigla, Tx) sia da ricevitore (listener o Rx).

- <u>Half-duplex</u> indica che la trasmissione è bidirezionale, ma non contemporanea nei due versi: in un determinato istante, uno solo dei due dispositivi emette segnali, l'altro ascolta. Quando è necessario, si scambiano di ruolo.
- La trasmissione <u>full-duplex</u> indica che la trasmissione è bidirezionale e contemporanea. In questo caso, sono necessari due fili, uno per ciascun verso di trasmissione. In alcuni sistemi di comunicazione, quali il comune telefono, possono essere adottati meccanismi che permettono la trasmissione full-duplex con un solo filo.

Se la trasmissione è sempre in un solo verso, si parla di **simplex**. Lo standard RS232 permette tutte e tre queste modalità di funzionamento, in quanto è utilizzato un conduttore separato per ciascun verso di trasmissione. In genere, nel caso di trasmissione duplex è necessario che i dati, in trasmissione e ricezione, abbiano lo stesso formato e la stessa velocità. Inoltre, ciascuno dei due nodi deve avere sufficiente potenza di calcolo per la gestione del duplice flusso di informazioni, condizione non sempre possibile quando la codifica del segnale è fatta solo utilizzando il software e senza assistenza di hardware dedicato.

Nella figura 2-33 è visualizzato, in modo idealizzato, che cosa appare collegando un oscilloscopio ad un filo su cui transita un segnale RS-232 a 9600 bps del tipo 8n2, rappresentante il valore binario 00110000.

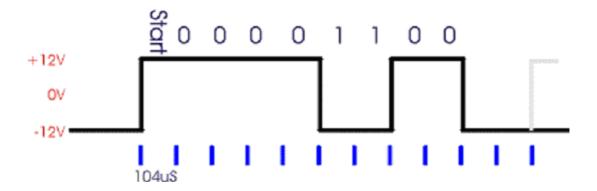


figura 2-33

L'ampiezza del segnale è caratterizzata da un valore "alto" pari a circa +12V ed un valore "basso" pari a circa -12V. Da notare che, nello standard RS-232 un segnale alto rappresenta lo zero logico, mentre uno basso rappresenta l'uno, come indicato nella figura 2-33 e contrario al "comune modo di pensare". A volte, un segnale alto (+12V, cioè uno zero logico) è indicato come space ed uno basso (-12V, uno logico) come mark. Tutte le transizioni appaiono in corrispondenza di multipli di 104 µs pari ad 1/9600, cioè ciascun bit dura esattamente l'inverso del baud rate.

La linea si trova inizialmente nello stato di riposo, bassa (nessun dato in transito); la prima transizione dal basso in alto indica l'inizio della trasmissione (inizia il "bit di start", lungo esattamente 104 μs). Segue il bit meno significativo (LSB), dopo altri 104 μs il secondo bit, e così via, per otto volte, fino al bit più significativo (MSB). Da notare che il byte è trasmesso "al contrario", cioè va letto da destra verso sinistra. Segue, infine, un periodo di riposo della linea di *almeno* 208 μs, cioè due bit di stop e quindi (eventualmente) inizia un nuovo pacchetto di bit con un nuovo bit di start (in grigio nel disegno).

Ne segue che le varianti possibili sono le seguenti:

- Se la trasmissione è più veloce o più lenta, la distanza tra i fronti varia di conseguenza (p.e. a 1200 bps le transizioni avvengono a multipli di 0,833 ms, pari a 1/1200).
- Invece di trasmettere 8 bit, ne posso trasmettere 6, 7 o anche 9 (ma quest'ultima possibilità non è prevista dalle porte seriali dei normali PC).
- Alla fine è possibile aggiungere un bit di parità, descritto più avanti.
- Alla fine, la linea rimane nello stato di riposo per almeno 1 o 1.5 o 2 bit; da notare che, se non ho più nulla da trasmettere, il "riposo" è molto più lungo, ovviamente. Molti sistemi non possono utilizzare 1.5 bit di stop.

In genere, il formato del pacchetto trasmesso è indicato da una sigla composta da numeri e cifre, per esempio 8n1 e 7e2:

- La prima cifra indica quanti bit di dati sono trasmessi (nei due esempi rispettivamente 8 e 7).
- La prima lettera il tipo di parità (rispettivamente nessuna ed even-parity, cioè parità pari).
- La seconda cifra il numero di bit di stop (rispettivamente 1 e 2).

Tenendo conto che esiste sempre un solo bit di start, un singolo blocco di bit è, quindi, per i due esempi riportati, costituito rispettivamente da 10 (1+8+0+1) e 11 (1+7+1+2) bit. Da notare che di questi bit solo 8 e, rispettivamente, 7 sono effettivamente utili. Lo standard originale prevede una velocità fino a 20Kbps. Uno standard successivo (RS-562) ha portato il limite a 64Kbps, lasciando gli altri parametri elettrici praticamente invariati, rendendo, quindi, i due standard compatibili a bassa velocità. Nei normali PC, le

cosiddette interfacce seriali RS-232 arrivano, in genere, almeno a 115Kbps, 230Kbps o anche più: pur essendo tali valori formalmente al di fuori di ogni standard ufficiale, non si hanno particolari problemi di interconnessione. Una precisazione da fare è che il trasmettitore ed il ricevitore devono accordarsi sul modo di trasmettere prima di iniziare la trasmissione stessa, pena l'impossibilità di instaurare la trasmissione o ricevere bit che appaiono casuali. Questa operazione va fatta configurando opportunamente il software e/o modificando manualmente alcuni dip-switch o altri dispositivi hardware. E' importante garantire il rigoroso rispetto della durata dei singoli bit: infatti, non è presente alcun segnale di clock comune a trasmettitore e ricevitore, per cui l'unico elemento di sincronizzazione è dato dal fronte si salita del bit di start. Come linea guida, occorre considerare che il campionamento in ricezione è effettuato di norma al centro di ciascun bit: l'errore massimo ammesso è quindi, teoricamente, pari alla durata di mezzo bit (circa il 5% della frequenza di clock, considerando che anche il decimo bit deve essere correttamente sincronizzato). Naturalmente, questo limite non tiene conto della difficoltà di riconoscere con precisione il fronte del bit di start (soprattutto su grandi distanze ed in ambiente rumoroso) e della presenza di interferenze intersimboliche tra bit adiacenti: per questo, spesso, si consiglia di usare un clock con una precisione migliore dell'1% imponendo, di fatto, l'uso di oscillatori a quarzo. Si potrebbe anche ipotizzare un meccanismo che tenta di estrarre il clock dai fronti intermedi, ma si tratta, nel caso specifico, di un lavoro poco utile, visto che la lunghezza del pacchetto è piuttosto breve. Si passa, ora, alla descrizione del bit di parità. Oltre ai bit dei dati (in numero variabile tra 5 ed 9) viene inserito un bit di parità (opzionale) per verificare la correttezza del dato ricevuto. Esistono diversi tipi di parità:

- None: nessun tipo di parità, cioè nessun bit aggiunto.
- Pari (even): il numero di mark (incluso il bit di parità) è sempre pari.
- Dispari (odd): il numero di mark (incluso il bit di parità) è sempre dispari.

L'idea è quella di predeterminare la quantità di 1 (e di conseguenza di 0) da trasmettere, facendo in modo che il loro numero sia sempre pari (o dispari, a seconda della scelta che

si vuole fare). Così facendo, se durante la trasmissione dovesse accadere un errore su un singolo bit, il ricevitore sarebbe in grado di rilevare l'errore, ma non di correggerlo. Si tratta, ovviamente, di un elementare protocollo di controllo degli errori e, di conseguenza, in disuso, a favore di altri sistemi basati su codici a ridondanza ciclica (CRC) o altri algoritmi più complessi.

Il bit di parità, a volte, viene mantenuto sempre ad un livello prestabilito, come per esempio, in alcuni protocolli usati da macchine industriali. Ciò, dà origine ad ulteriori due tipologie di parità, peraltro non molto comuni:

• Mark: il bit di parità vale sempre mark.

• Space: il bit di parità vale sempre space.

Tali configurazioni sono, a volte, usate per identificare la tipologia del byte trasmesso, per esempio potrebbe indicare se si tratta di un dato piuttosto che di un indirizzo.

La tensione di uscita da un trasmettitore RS232 deve essere compresa in valore assoluto tra 5V e 25V (quest'ultimo valore ridotto a 13V in alcune revisioni dello standard). A volte, le tensioni in uscita sono intenzionalmente diminuite a ± 6 V anziché 12V per permettere minori emissioni EMC, peraltro sempre critiche, e favorire maggiori velocità di trasmissione.

Il ricevitore deve funzionare correttamente con tensioni di ingresso comprese, sempre in modulo, tra i 3V ed i 25V. Molti ricevitori commerciali considerano semplicemente una tensione di soglia al valore di +2V (sopra viene riconosciuto un segnale alto, sotto uno basso) anche se ciò non è pienamente aderente alla norme. E', però, una scelta utile per effettuare una trasmissione "RS232" con livelli TTL. L'impedenza di uscita del trasmettitore deve, in ogni situazione, essere maggiore di 300 ohm; l'impedenza di ingresso deve essere compresa tra i 3 ed i 7 k Ω , anche a dispositivo spento. La corrente prelevabile in uscita, mantenendo i corretti valori logici, deve essere di almeno di 1.6 mA (potrebbe però essere maggiore, anche di un ordine di grandezza) e, nel caso di corto circuito, deve comunque essere minore di 100mA. Infine, la slew-rate (cioè la pendenza

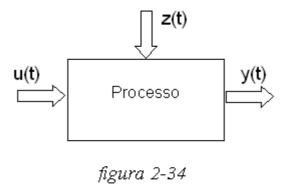
del grafico del segnale nel passare da 1 a 0 o viceversa) deve essere minore di 30V/us, per evitare eccessive emissioni elettromagnetiche.

2.5 Sistemi di controllo

Sia P un processo caratterizzato da:

- z(t), ingresso non manipolabile
- u(t), ingesso manipolabile
- y(t), uscita

con riferimento allo schema a blocchi di figura 2-34



Controllare il processo P significa individuare u(t) in modo che l'uscita y(t) sia uguale ad un'uscita desiderata $y_d(t)$.

Si può fare una prima distinzione tra le tipologie di controllo definendo il controllo ad anello aperto e quello in retroazione.

- Un controllo ad anello aperto (o ad azione diretta) è caratterizzato dal fatto
 che il valore della variabile manipolabile non dipende da quello della
 variabile controllata né da quelli di altre variabili dipendenti del sistema
 controllato.
- Nel controllo in retroazione (o ad anello chiuso), il valore della variabile manipolabile dipende da quello della variabile controllata e da quelli di altre variabili dipendenti del sistema controllato.

L'obiettivo dell'azione di controllo è fare in modo che l'uscita del sistema segue l'ingresso, a prescindere dai disturbi che influenzano il sistema dall'esterno e dalle variazioni parametriche interne al sistema stesso.

Gli aspetti fondamentali di un sistema di controllo sono:

- Precisione
- Attenuazione dei disturbi
- Attenuazione delle variazioni parametriche
- Stabilità
- Analisi della qualità del transitorio
- Robustezza

Il controllo a ciclo aperto non offre ottime garanzie, soprattutto in termini di robustezza, in quanto bisognerebbe avere un modello dettagliato del sistema e considerare le variazioni parametriche dei parametri caratteristici del sistema. Pertanto, la strada da

seguire è quella del controllo in retroazione. Lo schema a blocchi tipico di un sistema in retroazione è rappresentato nella figura 2-35.

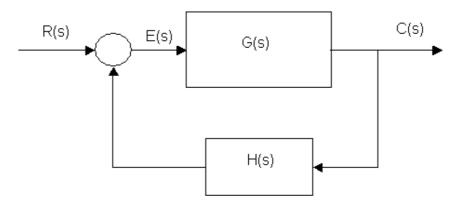


figura 2-35

dove:

- R(s) è il segnale di riferimento, ingresso
- C(s) è la variabile controllata, uscita
- E(s) è il segnale di errore che viene fuori dal nodo comparatore
- G(s) è la funzione di trasferimento ad anello aperto
- H(s) è la funzione di trasferimento del trasduttore di segnale di retroazione
- G(s)H(s) è il guadagno di anello

La retroazione, a sua volta, può essere divisa in retroazione positiva e retroazione negativa, in funzione del tipo di confronto effettuato dal nodo comparatore. Nello specifico, se il nodo comparatore somma al segnale di riferimento il segnale di retroazione, si parlerà di retroazione positiva, viceversa, se sottrae al segnale di

riferimento il segnale di retroazione, si avrà retroazione negativa. Con riferimento alla figura 2-35 si definisce funzione di trasferimento ad anello chiuso la relazione:

$$W(s) = \frac{G(s)}{1 + H(s) \cdot G(s)}$$

Se $H(s) \cdot G(s) > 0$ si ha retroazione negativa

Se $H(s) \cdot G(s) = -1$ si ha oscillazione

I vantaggi in applicazioni di controllo si hanno utilizzando la retroazione negativa. Se il sistema è sufficientemente veloce nell'apportare la correzione, le eventuali variazioni di G(s) non si ripercuotono sull'uscita, che, essendo costante l'ingresso, rimane anch'essa costante. Più in generale, se il segnale di ingresso varia nel tempo si può dire che il sistema a retroazione negativa tende ad apportare le correzioni necessarie a far sì che il segnale di uscita sia una replica fedele di quello di ingresso. Quindi, lo schema generale del controllo automatico di un processo, si particolarizza come mostrato in figura 2-36.

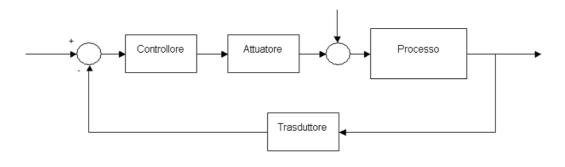


figura 2-36

dove:

- Trasduttore: traduce la grandezza da controllare
- Controllore: svolge la vera azione di controllo sulla base di informazioni note del sistema da controllare
- Attuatore: interfaccia tra il controllore ed il processo

Il controllore, in generale, è un sistema dinamico che ha lo scopo di elaborare una procedura di controllo a partire dal confronto fra grandezza di riferimento e l'uscita tradotta. Tale operazione è possibile solo se il controllore ha conoscenza del sistema. Proprietà importante della retroazione è l'aumento della banda passante. Infatti partendo dalla relazione:

$$W_f = \frac{G(\omega)}{1 + H \cdot G(\omega)}$$

ponendo
$$G(\omega) = \frac{G_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_p}}$$
 si ha che:

$$W(\omega) = \frac{G_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_p} + H \cdot G_0}$$

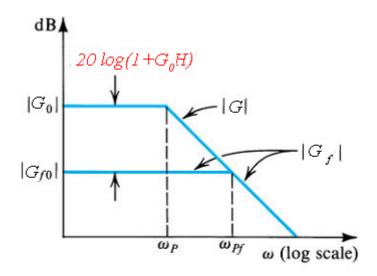


figura 2-37

dove
$$\omega_{pf} = \omega_p \cdot (1 + G_0 H)$$
.

Effetto analogo si ha con la frequenza di taglio inferiore dove:

$$\omega_{Lf} = \frac{\omega_L}{(1 + G_0 H)}$$

Soprattutto nel campo dell'elettroniche, la teoria della retroazione trova numerose applicazioni. In particolare, le topologie base di sviluppo di sistemi in retroazione sono quattro:

1. Serie-Parallelo

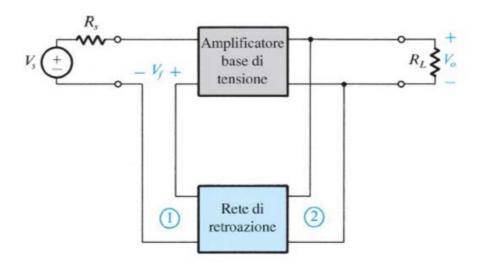


figura 2-38

2. Parallelo-Serie

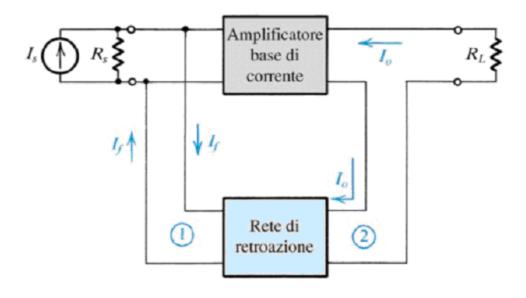


figura 2-39

3. Serie-serie

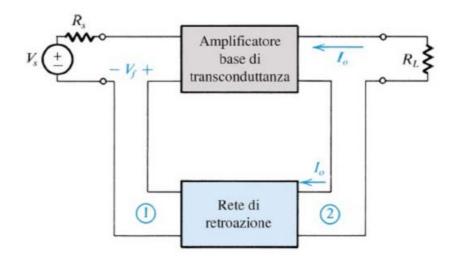


figura 2-40

4. Parallelo-parallelo

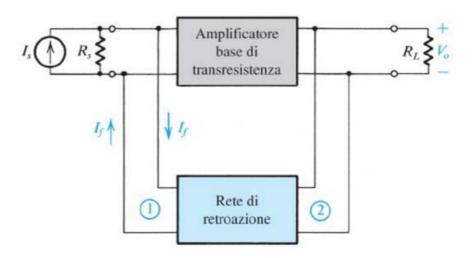


figura 2-41

Sistemi e Sensori di misura

Struttura generale di un sistema di misura e definizioni principali

L'obiettivo di un sistema di misura è quello di fornire all'osservatore un'indicazione sullo stato di un sistema fisico.

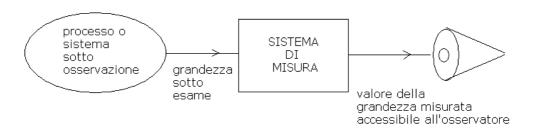


figura 2-42

In un sistema fisico si distinguono, in generale, quattro parti:

- 1. Elemento sensibile.
- 2. Condizionamento del segnale.
- 3. Elaborazione dati-segnale.
- 4. Rappresentazione del valore.



figura 2-43

Caratteristiche statiche di un sistema di misura

Detto "Campo" l'insieme dei possibili valori assunti da ingresso e uscita $[I_{min}, I_{max}]$ e $[O_{min}, O_{max}]$, la caratteristica statica di un sistema di misura si ricava esprimendo una relazione I/O lineare:

$$\begin{cases} O - O_{\min} = k(I - I_{\min}) \\ k = \frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \end{cases}$$

ovvero
$$O = kI + a$$
 dove $a = O_{\min} - KI_{\min}$

In presenza di non linearità, si definisce uno scostamento dalla relazione lineare N(I).

$$N(I) = O(I) - (kI + a)$$

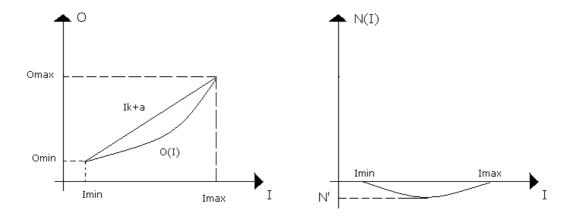


figura 2-44

- massima non linearità $\frac{N^{'}}{O_{\max} O_{\min}} \%$.
- Sensibilità $\frac{\Delta O(I)}{\Delta I}$.
- Fattori ambientali: temperatura ambiente, pressione, umidità...
- Effetto modificante: effetto tale da influenzare la costante "k" nella relazione lineare.
- Effetto interferente: effetto tale da influenzare il parametro "a" nella relazione lineare.

Tipi di misurazioni

Con il termine misurazione è indicato il procedimento con il quale arrivare alla misura, che, invece, è il risultato dell'operazione di misurazione. Misurare una grandezza vuol dire trovare in che rapporto essa si trova rispetto ad una grandezza di riferimento. La grandezza di riferimento è chiamata unità di misura.

- $\hat{g} = g[\hat{g}]$ dove \hat{g} è la grandezza fisica da misurare.
- g misura in forma di numero.
- $[\hat{g}]$ unità di misura.

L'interpretazione diretta della definizione di misura si riferisce alle misurazioni dirette o di confronto o relative. Un esempio di misura diretta o per confronto si ha nelle misure di tensione con il metodo potenziometrico: confronto diretto tra la tensione incognita V_x e di riferimento V_{ref} . Si nota che nel confronto diretto, il confronto stesso non è sempre fatto rispetto all'unità di misura, ma, frequentemente, si impiegano grandezze campione o

campioni, cioè grandezze di valore noto con precisione. Lo schema di misurazione è il seguente $\hat{g}_c = g_c[\hat{g}] \Rightarrow \hat{g} = n\hat{g}_c = ng_c[\hat{g}]$, essendo la prima uguaglianza una misura di g rispetto al campione, la seconda rispetto all'unità di misura. Con riferimento a leggi geometriche e fisiche si può esprimere il valore di una grandezza in funzione di altre grandezze fisiche.

Si parla, invece, di misurazioni indirette quando il confronto non avviene tra grandezze fisiche della stessa specie.

- $\hat{y} = \hat{y}(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3,....).$
- La relazione $\hat{y} = \hat{y}(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3,....)$ esprime una definizione fisica accurata ($velocit\grave{a} = \frac{spazio}{tempo}, R = \frac{tensione}{corrente}$).
- $\hat{y} = \text{grandezza da misurare.}$
- $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3,...$ = grandezze oggetto di misurazione.

Misure ed errori

Altro parametro fondamentale nel risultato di una misurazione sono gli errori. Per errori si intendono le cause che fanno si che l'indicazione della misura non corrisponda esattamente alla grandezza da misurare. Esistono concetti distinti:

- 1. *Errori della procedura*, i risultati della misurazione possono essere diversi se si ripete la procedura di misurazione.
- 2. *Variazioni incontrollate* della grandezza \hat{g} (fluttuazioni).

Si considerino solo i primi.

- a. Precisione di misura, che sottintende ripetibilità e consistenza dei risultati della misurazione: g1, g2, g3... Ad esempio $R = \frac{V}{i}$, dove i è la corrente effettiva e $V = v_R + \text{caduta sull'amperometro} \Rightarrow \text{errore sistematico}.$
- b. Accuratezza, che esprime la differenza tra il valore misurato ed il valore vero (definizione accettabile per fluttuazioni trascurabili).

Accuratezza è quindi un concetto diverso da quello di precisione.

Le sorgenti di errore sono:

- Errori sistematici.
- Errori casuali.
- Errori grossolani.

Un errore è sistematico se, fissate le condizioni sperimentali in grandezza e segno, ha la stessa influenza sul risultato della misura.

Gli errori casuali sono errori la cui influenza può cambiare in grandezza e segno, se si ripete la procedura di misurazione.

Gli errori grossolani riguardano l'operatore o guasti dello strumento.

La distinzione tra errori sistematici ed errori casuali si riflette sulla distinzione tra accuratezza e precisione. L'accuratezza è influenzata da tutti gli errori, la precisione è influenzata dagli errori casuali, (gli errori sistematici non contribuiscono alla variazione dei risultati). Il risultato di una misura si esprime:

$$g = g_{medio} \pm \Delta g$$

Nel caso di strumenti tarati Δg è indicato come valore percentuale del fondo scala.

Si ricorda, inoltre, che il termine *trasduttore* indica, in generale, un dispositivo diverso da quello indicato dal termine *sensore*, in particolare:

Trasduttore: (*transducer*) è un dispositivo o apparato, di solito elettrico o elettronico, ma talvolta anche semplicemente meccanico, che converte una grandezza fisica in un'altra. Ad esempio, ci sono trasduttori pressione/tensione, forza/spostamento, corrente/tensione, velocità/tensione,

temperatura/lunghezza ecc.

I trasduttori possono generalmente fungere sia da sensori che da attuatori.

Sensore: (sensor) è un dispositivo o apparato che permette la misura di una grandezza fisica, attraverso l'uso di un trasduttore. La grandezza fisica viene trasformata in un segnale, generalmente elettrico, di tipo continuo o discreto, da cui si estrae il valore numerico della grandezza misurata. Il sensore può essere diretto quando il valore della grandezza è immediatamente rilevabile dal segnale (ad esempio, la temperatura in un termometro a mercurio) oppure indiretto quando è necessario dotarlo di un indicatore, che fornisca, in modo esplicito, il livello analogico o il valore numerico della grandezza. Spesso, si usano questi due termini in modo indifferenziato, in quanto il sensore può essere pensato come il dispositivo, che esegue la trasduzione di una grandezza fisica in un valore analogico o numerico.

Caratteristiche e Prestazioni dei Sensori

I parametri che definiscono le prestazioni dei sensori e che consentono di paragonare tra loro sensori differenti sono: la *risoluzione*, la *ripetibilità* e la *precisione* o *accuratezza*.

Risoluzione: (resolution) definisce e misura il più piccolo scarto della grandezza misurata che un sensore è in grado di rilevare. La risoluzione è un parametro importante, perché condiziona sia la ripetibilità sia l'accuratezza. La risoluzione viene di solito indicata dal costruttore nelle

specifiche tecniche del sensore.

Ripetibilità: (repeatability o anche precision) definisce e quantifica la capacità di un sensore di misurare la stessa grandezza con misurazioni effettuate in tempi successivi. La ripetibilità diminuisce quando la variabilità dei risultati diminuisce e, quindi, occorre prestare attenzione al significato esatto del termine. Spesso si dice, erroneamente, che la ripetibilità aumenta (il sistema è più ripetibile, ossia è migliore) quando si ottengono variazioni minori. Essa è un parametro che dipende sia dalla risoluzione dei sensori sia dalla procedura di misurazione, che potrebbe introdurre, anche inconsapevolmente, degli effetti che producono una variabilità temporale dei risultati. Di solito, il parametro numerico, che quantifica la ripetibilità, viene definito in modo statistico. Ad esempio, calcolando la deviazione standard di un certo numero di misurazioni, secondo un protocollo di misura ben definito. Tuttavia, questo protocollo potrebbe essere diverso da costruttore a costruttore, e perciò è molto importante stabilire e rendere palesi le procedure con cui si misura la ripetibilità.

Spesso si incontra anche il termine *riproducibilità*; la differenza tra ripetibilità e riproducibilità può essere definita come segue:

Ripetibilità è la dispersione di valori ottenuta usando lo stesso sensore, dallo stesso operatore, nelle stesse condizioni e in un tempo ragionevolmente breve.

Riproducibilità è la dispersione ottenuta compiendo le stesse misurazioni con sensori e operatori differenti e/o in un tempo relativamente lungo.

Altre caratteristiche importanti per scegliere o paragonare i sensori sono le seguenti:

Funzione di trasferimento: descrive quantitativamente la relazione tra il segnale fisico in ingresso u e il segnale elettrico y in uscita dal sensore che rappresenta la

misura, ossia misura la funzione y(u). Se la funzione è lineare la f.d.t. è data come rapporto tra le trasformate di Laplace dei rispettivi segnali:

f.d.t.:
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

• Sensitività: esprime il rapporto tra il segnale fisico in ingresso e il segnale elettrico in uscita, di solito espresso come un rapporto tra incrementi finiti

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

oppure come derivata della funzione y(u):

$$s_0 = \frac{dy}{du}\bigg|_{u=u_0}$$

calcolata in un punto particolare.

- Coefficiente di temperatura esprime la dipendenza della sensitività dalla temperatura.
- Ampiezza dinamica definisce l'ampiezza dell'intervallo di valori del segnale di ingresso che può essere convertito linearmente in segnale elettrico dal sensore. Segnali all'esterno di questo intervallo, possono essere convertiti in segnale elettrico, solo con forti linearità o bassa accuratezza/precisione. La dinamica viene citata spesso nei sistemi di riproduzione di segnali audio e video, ma, comunque, rappresenta un parametro caratteristico anche per sensori o trasduttori di tipo diverso. L'ampiezza dell'intervallo, considerato nella misura della dinamica (lineare), va dal valore minimo, definito come quello appena

Sistemi e sensori di misura

superiore al rumore di fondo e quello massimo, immediatamente prima che si verifichino fenomeni di non linearità o distorsione del segnale. L'ampiezza dell'intervallo viene misurata come rapporto tra il valore massimo e il valore minimo del segnale. Nelle applicazioni audio, ma anche altrove, tale rapporto può essere eccessivamente grande e quindi viene misurato in decibel (dB). A tale proposito, si ricorda che il decibel è un'unità di misura di tipo logaritmico che esprime il rapporto fra due livelli di cui uno, quello al denominatore, è preso come riferimento. La differenza in dB fra due numeri (o due grandezze fisiche dello stesso tipo), come ad esempio due potenze N_I e N_2 è:

$$D_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

In elettronica ed elettrotecnica, nel calcolo di tensioni o correnti elettriche, essendo la potenza proporzionale al quadrato della tensione o della corrente, sfruttando le proprietà dei logaritmi, si usa:

$$D_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 20\log_{10}\left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

- Isteresi misura l'ampiezza dell'errore che certi sensori riportano quando, sollecitati da segnali di ingresso, che cambiano valore ciclicamente, non restituiscono lo stesso valore.
- L'errore di non linearità misura la distanza dalla condizione di linearità, cioè da quella rappresentata da una funzione di trasferimento y(u) lineare. Vi sono diversi modi per quantificare questa distanza. Il più comune paragona la funzione non lineare con la retta, che meglio approssima la funzione stessa nell'intervallo di valori considerato. Occorre perciò prestare attenzione al metodo

con cui si misura questo errore, perché potrebbe far apparire il sensore migliore di quello che è in realtà.

- Rumore. Tutti i sensori sono soggetti a rumore, ossia aggiungono al segnale di misura un segnale indesiderato, spesso dovuto a fluttuazioni aleatorie o interferenze elettromagnetiche. Se il rumore del sensore è inferiore alle fluttuazioni della misura o al rumore dell'elettronica, presente a valle del sensore, allora è ininfluente; in caso contrario, esso può degradare le prestazioni dell'intera catena impianto/sensore/controllore e renderla inadatta allo scopo. Il rumore, di solito, è distribuito su un ampio spettro di frequenze e molte sorgenti di rumore producono un rumore detto "rumore bianco" (white noise), dove la densità spettrale di potenza è uguale per ogni frequenza. Il rumore viene spesso caratterizzato fornendo la densità spettrale del valore efficace del rumore, data in unità $\left| \frac{V}{\sqrt{Hz}} \right|$. Trattandosi di densità, per ricavare il valore efficace del rumore, occorre integrare la densità spettrale nella banda di frequenza considerata. Una distribuzione di questa natura somma alla misura un errore di ampiezza proporzionale alla radice quadrata della banda passante del sistema di misura. Poiché vi è una relazione inversa tra la banda passante e il tempo di misura, si può, approssimativamente, affermare che il rumore diminuisce con la radice quadrata del tempo di misura.
- Banda passante. Tutti i sensori presentano un tempo di risposta finito ad una variazione istantanea della quantità misurata. Inoltre, molti sensori presentano un tempo di decadimento, rappresentato dal tempo necessario per tornare al valore originale dopo una variazione a gradino della quantità misurata. L'inverso di questi due tempi fornisce una indicazione di massima del upper e lower bound della frequenza di taglio (cutoff frequency). La banda passante del sensore è l'intervallo di frequenza tra questi due bound.

Sensori di Corrente

I sensori di corrente più comuni sono:

- 1. Shunt.
- 2. Trasformatori amperometrici (TA).
- 3. Sensori ad effetto Hall.

Essi si differenziano per caratteristiche e prestazioni :

- 1. Lo shunt è il più semplice ed economico trasduttore di corrente, è un resistore di piccolo valore, che in questo impiego è indicato come "shunt". Esso fornisce una tensione proporzionale alla corrente. La sua limitazione principale consiste nel fatto che il segnale fornito non è isolato dal circuito di potenza. Inoltre, esso è spesso poco adatto a sopportare forti sovraccarichi. Gli shunt sono, di solito, realizzati in modo da assicurare una buona costanza del valore di resistenza nel tempo ed al variare della temperatura.
- 2. I trasformatori Amperometrici (TA) si usano per la misura di correnti alternate. Il TA fornisce una corrente proporzionale a quella da misurare, che può essere convertita in un segnale di tensione mediante un resistore di valore opportuno. A meno di costruzioni particolari, il TA è molto sensibile alla presenza di componenti continue di corrente che ne alterano la precisione. Il segnale del TA è isolato dal circuito di potenza. Spesso i TA sono realizzati in modo da richiedere poche spire nel circuito dove fluisce la corrente da misurare. In molti casi, il TA manca dell'avvolgimento primario. Questo viene realizzato facendo passare, una o più volte, il filo percorso dalla corrente da misurare in un foro centrale appositamente predisposto (fig.2-45).

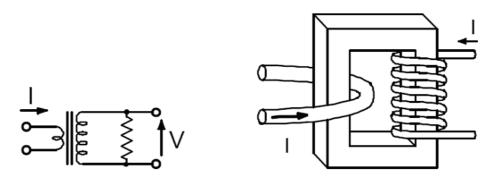


figura 2-45

3. I sensori ad effetto Hall sono dei sensori che generano tensioni elettriche quando sono sollecitati da campi magnetici e che, proprio per questo, vengono denominati anche sensori magnetici. Il sensore funziona in virtù di un effetto elettromagnetico scoperto nel 1879 dallo scienziato E.H. Hall. Con riferimento alla figura 2-46 si ha che, quando sui terminali di un conduttore si applica una tensione V, questa, se è una tensione continua, promuove un flusso di elettroni uniforme dal punto A verso il punto B, senza che, tra due punti estremi di una sezione trasversale del conduttore (C - D) sussista alcuna differenza di potenziale. L'indice del voltmetro, infatti, rimane fermo sullo zero centrale. Se, invece, si avvicina un magnete al conduttore, il flusso di elettroni subisce una deviazione dal percorso rettilineo, con un certo ammassamento verso il punto D ed un diradamento nella zona prossima al punto C.

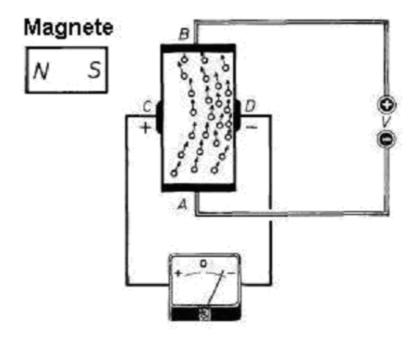


figura 2-46

Il risultato elettrico più appariscente è quello della presenza di una tensione, fra i punti C - D, segnalata dall'indice del voltmetro. Invertendo le polarità del magnete, anche il corrispondente concentramento di elettroni e la deviazione dell'indice dello strumento si invertono. Con il risultato che il punto C è, questa volta, più negativo del punto A e l'indice del voltmetro flette verso i valori positivi. Più simbolicamente, il concetto di tensione di Hall si esprime attraverso lo schema riportato nella figura successiva, nella quale con Va si indica la tensione di alimentazione del circuito, mentre con GND è segnalata la massa (fig. 2-47).

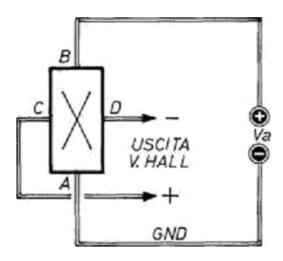


figura 2-47

In generale, dunque, la tensione di Hall si manifesta quando un campo magnetico di intensità H coinvolge, trasversalmente, un conduttore percorso da corrente ed è rilevabile fra le estremità delle due sezioni perpendicolari. La tensione di Hall è normalmente troppo esigua e, in misura particolare, molto influenzabile da entità fisiche e problemi costruttivi per essere utilizzata direttamente. Tuttavia, le moderne tecnologie sono riuscite a produrre dei sensori magnetici integrati, il cui funzionamento si basa sull'effetto prima descritto e che prendono il nome di sensori di Hall. Alla costruzione di questi nuovi componenti, si è giunti dopo aver osservato che la tensione di Hall si manifesta in tutti i conduttori ed anche nei semiconduttori, che sono stati designati come gli elementi base per la costruzione dei sensori di Hall. Infatti, nello stesso processo di produzione industriale, e' possibile realizzare sia il sensore di Hall sia i circuiti analogici, necessari per elaborare il segnale elettrico e dargli quelle caratteristiche di stabilità ed ampiezza che sono necessarie per ogni impiego affidabile, e non critico, nei dispositivi elettronici. La figura 2-48 presenta lo schema elettrico di principio e funzionale di un integrato sensore di Hall con uscita analogica, particolarmente adatto per applicazioni lineari, ma anche logiche.

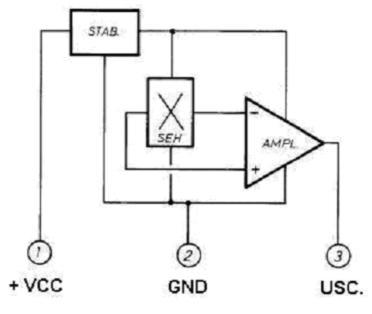


figura 2-48

Il componente è dotato di tre terminali, come avviene in un transistor, che sono contrassegnati con le seguenti tre sigle:

- +VCC = tensione di alimentazione positiva
- GND = tensione di alimentazione negativa
- USC = uscita

Si interpreti, ora, il significato dei tre elementi integrati nel sensore di Hall:

- STAB. = circuito stabilizzatore di tensione
- SEH = sensore di Hall
- AMPL. = circuito amplificatore.

Il circuito stabilizzatore e regolatore STAB. provvede ad alimentare con una corrente rigorosamente compensata, quasi costante e indipendente dalla tensione di alimentazione, ovviamente entro i limiti di tolleranza, l'intero circuito del sensore integrato. Ciò, è molto importante per l'effetto Hall, dato che correnti diverse darebbero origine a differenti tensioni. In particolare, la corrente è dimensionata per un corretto compromesso tra auto-riscaldamento e necessità di un elevato segnale di Hall.

L'amplificatore operazionale AMPL agisce direttamente sulla tensione di Hall, ed è collegato in modo differenziale, ossia rimane sensibile soltanto alla differenza tra le tensioni presenti sulle facce opposte del sensore, non al loro valore comune. Con questo sistema, l'uscita dell'amplificatore operazionale è condizionata esclusivamente dalla tensione di Hall. Il segnale uscente dall'amplificatore è sufficientemente ampio per non sollevare problemi di collegamento e cablaggio e per essere pronto all'elaborazione tramite normali circuiti analogici e logici. In pratica, l'amplificatore può fornire una corrente di qualche milliampere, consentendo così l'impiego di medie impedenze, in grado di aumentare la flessibilità e l'immunità del circuito ai disturbi. L'impedenza d'uscita è bassa e si aggira intorno alle decine di ohm. Quella riportata nella figura 2-49 è la versione di sensore con uscita digitale, più idonea alle applicazioni logiche, per la quale serve l'informazione di "tutto" o "niente", in corrispondenza o meno di un certo campo magnetico.

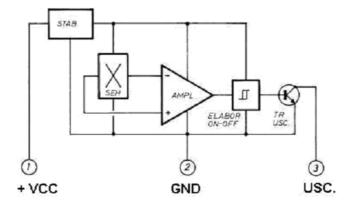


figura 2-49

L'uscita dell'amplificatore operazionale è collegata con un comparatore dotato di soglia fissa, denominato ELABORATORE ON-OFF, che scatta e varia il livello della sua uscita quando il campo magnetico e, di conseguenza, l'uscita dell'amplificatore operazionale supera la soglia. Il comparatore è dotato di isteresi per evitare oscillazioni ed incertezze al momento dello scatto quando il segnale è vicino alla soglia. Infatti, queste impedirebbero il corretto funzionamento dei circuiti logici che necessitano di fronti ripidi e privi di rimbalzi. L'uscita del comparatore, come si può notare in figura 2-49, agisce su un transistor NPN di commutazione, che fornisce la corrente necessaria per pilotare tutti i normali carichi dei circuiti logici. Quando TR è saturo fornisce un livello zero, pari ad alcune centinaia di millivolt o meno, a seconda del carico, compatibile con le comuni famiglie logiche. L'uscita del transistor TR è di collettore, "open-collector", cioè a collettore libero, in modo da consentire l'adattamento con ogni tipo di circuito, tenendo conto che è possibile variare l'alimentazione del SEH e della logica entro ampi limiti. L'uscita di collettore di TR permette pure il cosiddetto wired-or o funzione logica di tipo OR filata, assai comoda in tutti quei casi in cui si deve raccogliere, su un unico ingresso, il segnale proveniente da molti sensori.

A completamento di questo paragrafo, si riporta che la misurazione di tensioni viene effettuata con dei partitori resistivi, utilizzando, ove fosse richiesta una elevata precisione, dei resistori, detti di precisione, in modo dà rientrare nei parametri imposti dall'errore consentito dalle specifiche di progetto.

2.7 STATO DELL'ARTE

In questo paragrafo si vuole offrire una panoramica di quello che il settore dell'industria elettronica mette a disposizione in particolare riferimento a: DC/DC converter, microcontrollori e sensori di corrente. L'attenzione sarà focalizzata sia sulle caratteristiche tecniche dei dispositivi che sulle diversità di ordine economico, fornendo gli elementi necessari per poter effettuare la scelta giusta in fase di realizzazione del progetto.

2.7.1 Convertitori DC/DC

L'offerta di convertitori DC/DC risulta essere molto vasta. Una volta scelta la tipologia di convertitore, individuando tensione e corrente nominali e stabilita la tecnica di conversione in base alla potenza necessaria, come espresso nei paragrafi precedenti, non resta che effettuare la scelta più conveniente. I parametri che andranno a diversificare la preferenza del prodotto saranno: i costi, le temperature di funzionamento, il rendimento e l'ingombro. C'è da dire che, per quello che concerne l'ingombro ed il rendimento, le aziende produttrici riescono a fornire dei prodotti molto simili tra loro. Pertanto, individuate le condizioni di funzionamento ambientali, nelle quali la macchina dovrà operare e scelto il range di temperatura che soddisfa le specifiche di progetto, la scelta cadrà essenzialmente sul livello di affidabilità che si vuole dalla realizzazione del progetto. In altre parole, se ci sarà bisogno di alta affidabilità, tipo quella che si richiede in applicazioni nelle quali non è possibile interrompere il funzionamento del sistema per effettuare riparazioni, si sceglieranno, prima di tutto, aziende che abbiano una grossa esperienza nel settore, con riconosciuta qualità di produzione. D'altro canto, questo, porterà sicuramente a spese più elevate. Da un'indagine effettuata, sono state selezionate una serie di aziende produttrici e sono state riportate le caratteristiche dei dispositivi, onde poter effettuare un confronto. Si precisa che la selezione dei prodotti è stata fatta anche in funzione della reperibilità e dei tempi di consegna dei prodotti stessi. Le aziende selezionate sono:

- Traco Power.
- Recom.
- Astec.

Traco Power

Traco Power è un marchio registrato della Traco Electronic AG, una compagnia con sede centrale a Zurigo, Svizzera. E' un'azienda con una esperienza consolidata da più di trenta anni di lavoro nell'ambito del "power supply". L'attività della Traco è focalizzata sui seguenti cinque segmenti di mercato:

- Moduli DC/DC converter a bassa potenza, 1-150W.
- Moduli di potenza AD/DC, 5-50W.
- AD/DC Power Supplies, 10-1000W.
- Power Supplies per uso industriale su guida DIN, 20-600W.
- Convertitori AC/DC e DC/DC di alta potenza, superiore a 22kW.

Tutti i prodotti della Traco sono testati e godono di garanzia triennale, componente che garantisce ottima affidabilità e qualità dei prodotti. Le aziende distributrici per l'Italia sono: RS Components, Farnell Italia, Distrelect Italia e Silverstar Idt.

Si focalizzi l'attenzione sui prodotti più vicini alle esigenze di progetto, considerando, per i prezzi, la miglior offerta fatta dai quattro distributori:

DC/DC converter da 5W:

• Serie TEL 5 a uscita singola e doppia.



figura 2-50

- Dimensioni ridotte e alta densità di potenza.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Protezione continua da cortocircuito.
- DIP a 24 pin con uscite standard industriale.

| TABELLA 2-2 | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|
| Serie TEL 5 a uscita singola e doppia | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | 110220 | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | |
| 5W Singola | 18-36 | 3.3 | 1200 | -40 → +71 | 23.50 | | |
| 5W Singola | 18-36 | 5 | 1000 | -40 → +71 | 23.50 | | |
| 5W Singola | 18-36 | 12 | 500 | -40 → +71 | 23.50 | | |
| 5W Doppia | 18-36 | ±12 | ±250 | -40 → +71 | 26.20 | | |
| 5W Doppia | 18-36 | ±15 | ±200 | -40 → +71 | 26.20 | | |

• Serie TEN 5 a uscita singola e doppia.



- Dimensioni ridotte e alta densità di potenza.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Precisione della tensione di uscita, $\pm 0.5\%$.
- Uscite stabilizzate.
- Efficienza elevata, fino all'86%.
- Protezione continua da cortocircuito.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| TABELLA 2-3 | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|
| Serie TEN 5 a uscita singola e doppia | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | |
| 5W Singola | 18-36 | 3.3 | 1200 | -40 → +85 | 31,20 | |
| 5W Singola | 18-36 | 5 | 1000 | -40 → +85 | 31,20 | |
| 5W Singola | 18-36 | 12 | 500 | -40→+85 | 31,20 | |
| 5W Singola | 18-36 | 15 | 400 | -40 → +85 | 31,20 | |
| 5W Doppia | 18-36 | ±5 | ±500 | -40 → +85 | 40,10 | |
| 5W Doppia | 18-36 | ±12 | ±250 | -40 → +85 | 40,10 | |
| 5W Doppia | 18-36 | ±15 | ±200 | -40 → +85 | 40,10 | |

• Serie 5WI TEN a uscita singola e doppia.



figura 2-52

- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- DIP a 24 pin con uscite standard industriale.
- Efficienza elevata, fino all'84%.
- Protezione illimitata da cortocircuito.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| TABELLA 2-4 | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|---------------------|----------------------|--------|--|--|
| Serie 5WI TEN a uscita singola e doppia | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | ensione Corrente Te | | Prezzo | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | |
| 5W Singola | 9-36 | 3.3 | 1200 | -40 → +85 | 33,60 | | |
| 5W Singola | 9-36 | 5 | 1000 | -40 → +85 | 26,90 | | |
| 5W Singola | 9-36 | 12 | 500 | -40→+85 | 26,90 | | |
| 5W Singola | 18-75 | 3.3 | 1200 | -40 → +85 | 33.60 | | |
| 5W Singola | 18-75 | 5 | 1000 | -40 → +85 | 26,90 | | |
| 5W Singola | 18-75 | 12 | 500 | -40 → +85 | 26,90 | | |
| 5W Doppia | 9-36 | ±12 | ±250 | -40 → +85 | 28.60 | | |
| 5W Doppia | 9-36 | ±15 | ±200 | -40 → +85 | 28.60 | | |
| 5W Doppia | 18-75 | ±12 | ±250 | -40 → +85 | 28.60 | | |
| 5W Doppia | 18-75 | ±15 | ±200 | -40 → +85 | 28.60 | | |

DC/DC converter da 12W:

• Serie TEN 12WI a uscita singola e doppia.



figura 2-53

- Dimensioni ridotte e alta densità di potenza.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Lunga durata ed elevata affidabilità.
- Efficienza elevata, fino all'84%.
- Protezione continua da cortocircuito.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| TABELLA 2-5 | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|
| Serie TEN 12WI a uscita singola e doppia | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | (€) | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | | | |
| 12W Singola | 9-36 | 3.3 | 2400 | -40 → +85 | 46,70 | | |
| 12W Singola | 9-36 | 5 | 2000 | -40 → +85 | 40,30 | | |
| 12W Singola | 9-36 | 12 | 1000 | -40 → +85 | 40,30 | | |
| 12W Singola | 18-75 | 5 | 2000 | -40 → +85 | 40,30 | | |
| 12W Singola | 18-75 | 12 | 1000 | -40 → +85 | 40,30 | | |
| 12W Doppia | 9-36 | ±5 | ±1000 | -40 → +85 | 42,60 | | |
| 12W Doppia | 9-36 | ±12 | ±500 | -40 → +85 | 42,60 | | |
| 12W Doppia | 18-75 | ±5 | ±1000 | -40 → +85 | 42,60 | | |
| 12W Doppia | 18-75 | ±12 | ±500 | -40 → +85 | 42,60 | | |

DC/DC converter da 25/30W:

• Serie TEN 25 a uscita singola e doppia.



figura 2-54

- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- On/off remoto
- Protezione continua da cortocircuito.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| TABELLA 2-6 | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|------------------|---------------|--|--|
| Serie TEN 25 a uscita singola e doppia | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo (€) | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | | | |
| 25W Singola | 18-36 | 5 | 5000 | -40 → +85 | 48,50 | | |
| 30W Singola | 18-36 | 12 | 2500 | -40 → +85 | 48,50 | | |
| 15W Doppia | 18-36 | ±12 | ±1250 | -40 → +85 | 58,90 | | |
| 15W Doppia | 18-75 | ±15 | ±1000 | -40→+85 | 58,90 | | |

DC/DC converter da 2/2.5W:

• Serie MHV



figura 2-55

- Protezione continua da cortocircuito.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| TABELLA 2-7 | | | | | | | |
|-----------------|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|
| Serie MHV | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | |
| MVH12 180S15N | 12 | -180 | 15 | -10 → +60 | / | | |
| MVH12 300S10N | 12 | -300 | 10 | -10→+60 | / | | |
| MVH12 350S7N | 12 | -350 | 7 | -10→+60 | / | | |
| MVH12-0.5K6000N | 12 | -500 | 6 | -10→+60 | / | | |

Recom

La Recom è un'azienda multinazionale con sedi dislocate in Germania, Austria, Taiwan, Singapore e U.S.A. . Essa da più di trenta anni mette a disposizione dell'industria elettronica DC/DC e AC/DC converter, principalmente proiettati nelle applicazioni di telecomunicazioni, controllo, data processing, applicazioni mediche e militari. La Recom offre prodotti che spaziano in un ampio range di potenza, 0.25 a 125W, con la possibilità di richiedere modifiche agli standard proposti dall'azienda, ricevendone consegna in breve termine. Tutti i prodotti sono al 100% testati e distribuiti per l'Italia da: RS Components e Distrelect Italia. Anche in questo caso, ci si concentrerà sui prodotti più vicini alle esigenze di progetto, considerando, per i prezzi, la miglior offerta fatta dai due distributori:

DC/DC converter da 5W:

• Serie REC5 a uscita singola e doppia.



figura 2-56

- Uscita stabilizzata.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Involucro DIP24.
- Efficienza tipica, fino all'84%.
- Protezione da cortocircuito.

| | TABELLA 2-8 | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|--|--|--|--|
| | Serie REC5 a uscita singola e doppia | | | | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | | | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | | | | | |
| 5W Singola | 9-36 | 9-36 5 | | -40 → +75 | 27,92 | | | | | | |
| 5W Singola | 9-36 | 12 | 470 | 40 → +75 | 27,11 | | | | | | |
| 5W Singola | 9-36 | 15 | 400 | -40 → +75 | 26,84 | | | | | | |
| 5W Singola | 18-72 | 5 | 1000 | -40 → +75 | 27,11 | | | | | | |
| 5W Doppia | 9-36 | ±5 | ±500 | -40 → +75 | 29,84 | | | | | | |
| 5W Doppia | 9-36 | ±12 | ±230 | -40 → +75 | 29,84 | | | | | | |
| 5W Doppia | 9-36 | ±15 | ±190 | -40 → +75 | 29,54 | | | | | | |
| 5W Doppia | 18-72 | ±5 | ±500 | -40 → +75 | 29,84 | | | | | | |
| 5W Doppia | 18-72 | ±12 | ±230 | -40 → +75 | 29,84 | | | | | | |

• Serie REC5 a uscita singola e doppia con isolamento a 4kV.



figura 2-57

- Uscita stabilizzata.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Involucro DIP24.
- Efficienza tipica, fino all'84%.
- Protezione da cortocircuito.

| TABELLA 2-9 Serie REC5 a uscita singola e doppia con isolamento a 4kV | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|----------------------|------------|--|--|--|--|--|
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | Prezzo (€) | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | , | | | | | |
| 5W Singola | 18-36 | 5 | 1000 | -40 → +75 | 27,09 | | | | | |
| 5W Singola | 18-36 | 12 | 420 | -40 → +75 | 27,09 | | | | | |
| 5W Doppia | 18-36 | ±5 | ±500 | -40 → +75 | 29,81 | | | | | |
| 5W Doppia | 18-36 | ±12 | ±210 | -40 → +75 | 29,81 | | | | | |

DC/DC converter da 12W:

• Serie RP12-A a uscita singola e doppia.



figura 2-58

- Uscita stabilizzata.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Involucro DIP24.
- Protezione continua contro i cortocircuiti con ripristino automatico.
- Protezione di sovraccarico.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| TABELLA 2-10 | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|--|--|--|
| Serie RP12-A a uscita singola e doppia | | | | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | | | | |
| 12W Singola | 18-36 | 3.3 | 3000 | -40 → +65 | 61,70 | | | | | |
| 12W Singola | 18-36 | 5 | 2000 | -40→+65 | 61,70 | | | | | |
| 12W Doppia | 18-36 | ±12 | ±500 | -40 → +65 | 64,58 | | | | | |
| 12W Doppia | 18-36 | ±15 | ±400 | -40 → +65 | 66,20 | | | | | |

• Serie RP12-S/DAW a uscita singola e doppia.



figura 2-59

- Alta densità di potenza.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Involucro DIP24.
- Protezione contro cortocircuiti, sovraccarichi, sovratensione e sottotensione.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.
- On/off remoto.

| | TABELLA 2-11 | | | | | | | | | |
|--|--------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|--|--|--|
| Serie RP12-S/DAW a uscita singola e doppia | | | | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | (€) | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (+) | | | | | |
| 12W Singola | 9-36 | 3.3 | 3500 | -40 → +61 | 43,45 | | | | | |
| 12W Singola | 9-36 | 5.1 | 2400 | -40 → +65 | 43,45 | | | | | |
| 12W Singola | 9-36 | 12 | 1000 | -40 → +65 | 43,45 | | | | | |
| 12W Singola | 18-75 | 3.3 | 3500 | -40 → +61 | 43,45 | | | | | |
| 12W Singola | 18-75 | 5.1 | 2400 | -40 → +65 | 43,45 | | | | | |
| 12W Singola | 18-75 | 12 | 1000 | -40 → +65 | 43,45 | | | | | |
| 12W Doppia | 9-36 | ±5 | ±1200 | -40 → +61 | 45,37 | | | | | |
| 12W Doppia | 9-36 | ±12 | ±500 | -40 → +65 | 45,37 | | | | | |
| 12W Doppia | 18-75 | ±5 | ±1200 | -40 → +61 | 45,37 | | | | | |
| 12W Doppia | 18-75 | ±12 | ±500 | -40 → +65 | 45,37 | | | | | |

DC/DC converter da 20W:

• Serie RP20-F a uscita singola e doppia.



figura 2-60

- Elevata efficienza, tipica 88%.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Schermatura continua su sei lati.
- Design ultracompatto.
- Contenitore in rame rivestito in nichel.

| TABELLA 2-12 | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|--|--|--|
| Serie RP20-F a uscita singola e doppia | | | | | | | | | | |
| Tensione Tensione Corrente Temperatura | | | | | | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | Prezzo | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | | | | |
| 20W Singola | 18-36 | 3.3 | 5000 | -40 → +85 | 79,07 | | | | | |
| 20W Singola | 18-36 | 5 | 4000 | -40 → +85 | 79,07 | | | | | |
| 20W Singola | 18-36 | 12 | 1670 | -40 → +85 | 81,05 | | | | | |
| 20W Singola | 18-36 | 15 | 1330 | -40 → +85 | 81,05 | | | | | |
| 20W Doppia | 18-36 | ±12 | ±883 | -40 → +85 | 83,12 | | | | | |
| 20W Doppia | 18-75 | ±15 | ±667 | -40 → +85 | 83,12 | | | | | |

• Serie RP20-S/DFW a uscita singola e doppia.



figura 2-61

- Alta densità di potenza.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Protezione contro cortocircuiti, sovraccarichi, sovratensione e sottotensione.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.
- On/off remoto.

| TABELLA 2-13 | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|------------------|--------|--|--|--|--|--|
| Serie RP20-S/DFW a uscita singola e doppia | | | | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | | | | |
| 20W Singola | 9-36 | 3.3 | 5500 | -40 → +63 | 52,76 | | | | | |
| 20W Singola | 9-36 | 5 | 4000 | -40 → +63 | 52,76 | | | | | |
| 20W Singola | 9-36 | 12 | 1670 | -40 → +63 | 52,76 | | | | | |
| 20W Singola | 18-75 | 3.3 | 5500 | -40 → +63 | 52,76 | | | | | |
| 20W Singola | 18-75 | 5 | 4000 | -40 → +63 | 52,76 | | | | | |
| 20W Singola | 18-75 | 12 | 1670 | -40 → +63 | 52,76 | | | | | |
| 20W Doppia | 9-36 | ±5 | ±2000 | -40 → +63 | 56,16 | | | | | |
| 20W Doppia | 9-36 | ±12 | ±883 | -40 → +63 | 56,16 | | | | | |
| 20W Doppia | 18-75 | ±5 | ±2000 | -40 → +63 | 56,16 | | | | | |
| 20W Doppia | 18-75 | ±12 | ±883 | -40 → +63 | 56,16 | | | | | |

• Serie RP20-EW/E a uscita singola, doppia e tripla.



figura 2-62

- Uscita stabilizzata.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Protezione contro cortocircuiti, e sovratensione.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| | TABELLA 2-14 | | | | | | | | | | |
|---|--------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--|--|--|--|--|--|
| Serie RP20-EW/E a uscita singola, doppia e tripla | | | | | | | | | | | |
| Tensione Tensione Corrente Temperatura | | | | | | | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | Prezzo | | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (€) | | | | | | |
| 20W Singola | 9-36 | 5 | 4000 | -40→+85 | 63,35 | | | | | | |
| 20W Singola | 9-36 | 12 | 1670 | -40 → +85 | 61,80 | | | | | | |
| 20W Doppia | 9-36 | ±5 | ±2000 | -40 → +85 | 70,24 | | | | | | |
| 20W Doppia | 9-36 | ±12 | ±883 | -40 → +85 | 70,24 | | | | | | |
| 20W Tripla | 18-36 | 5/±12 | 2000/±300 | -40 → +85 | 79,68 | | | | | | |
| 20W Tripla | 18-36 | 5/±15 | 2000/±250 | -40 → +85 | 79,68 | | | | | | |

DC/DC converter da 30W:

• Serie RP30-EW/TA a uscita singola, doppia e tripla.



figura 2-63

- Elevata efficienza, tipica 88%.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Schermatura continua su sei lati.
- Contenitore in rame rivestito in nichel.

| | TABELLA 2-15 | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-----------|------------|----------------------|---------------|--|--|--|--|--|--|
| Serie RP30-EW/TA a uscita singola, doppia e tripla | | | | | | | | | | | |
| Tensione Tensione Corrente Temperatura | | | | | | | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | Prezzo (€) | | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (9) | | | | | | |
| 30W Singola | 10-40 | 10-40 3.3 | | -40→+85 | 103,12 | | | | | | |
| 30W Singola | 10-40 | 5 | 6000 | -40 → +85 | 103,12 | | | | | | |
| 30W Singola | 10-40 | 12 | 2500 | -40 → +85 | 103,12 | | | | | | |
| 20W Doppia | 10-40 | ±12 | ±1250 | -40 → +85 | 100,89 | | | | | | |
| 20W Doppia | 0W Doppia 10-40 ±15 | | ±1000 | -40 → +85 | 100,89 | | | | | | |
| 20W Tripla | 20W Tripla 18-36 | | 5000/±1000 | -40 → +85 | 106,32 | | | | | | |

Astec

Astec è un marchio della Emerson Network power, multinazionale con diverse sedi dislocate in tutti i continenti, con stabilimenti di produzione in Cina e Filippine. La Astec offre una ottima gamma di prodotti, soprattutto nell'ambito degli AC/DC converter. C'è anche una buona offerta di DC/DC converter, anche se non ampia come le aziende visionate in precedenza. I prodotti sono distribuiti in Italia da: RS Components e Farnell Italia.

DC/DC converter da 6W:

• Serie ASA-6W con uscita singola e doppia.



figura 2-64

- Protezione contro cortocircuiti, sottotensione e sovratensione, con riavvio automatico.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.

| TABELLA 2-16 | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-----------|-----------|--------------|--------|--|--|--|--|--|--|
| Serie ASA-6W con uscita singola e doppia | | | | | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | (€) | | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (9 | | | | | | |
| 6W Singola | gola 9-36 3.3 120 | | 1200 | 0→+71 | 23,12 | | | | | | |
| 6W Singola | 9-36 | 5 | 1000 | 0→+71 | 23,12 | | | | | | |
| 6W Singola | 9-36 | 12 | 500 | 0→+71 | 23,12 | | | | | | |
| 6W Singola | 18-75 | 3.3 | 1200 | 0→+71 | 23,12 | | | | | | |
| 6W Singola | 18-75 | 5 | 1000 | 0→+71 | 23,12 | | | | | | |
| 6W Singola | 18-75 | 12 | 500 | 0→+71 | 23,12 | | | | | | |
| 6W Doppia | 9-36 | ±5 | ±500 | 0→+71 | 25,39 | | | | | | |
| 6W Doppia | 9-36 | ±12 | ±250 | 0→+71 | 25,39 | | | | | | |
| 6W Doppia | 18-75 | ±5 | ±500 | 0→+71 | 25,39 | | | | | | |
| 6W Doppia | 18-75 | ±12 | ±250 | 0→+71 | 25,39 | | | | | | |

DC/DC converter da 10W:

• Serie ASA-10W con uscita singola.



figura 2-65

- Protezione contro cortocircuiti, sottotensione e sovratensione, con riavvio automatico.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.
- DIP24.

| TABELLA 2-17 Serie ASA-10W con uscita singola | | | | | | | | | |
|--|-------|-----|------|------------------|-------|--|--|--|--|
| Descrizione Tensione Corrente Temperatura di Ingresso di Uscita di Uscita di esercizio (♥(C.c.)) (V(C.c.)) (mA) (°C) | | | | | | | | | |
| 10W Singola | 18-36 | 2.5 | 3000 | 40→+60 | 23,12 | | | | |
| 10W Singola | 18-36 | 3.3 | 3000 | -40 → +60 | 23,12 | | | | |
| 10W Singola | 18-36 | 5 | 2000 | -40 → +60 | 23,12 | | | | |
| 10W Singola | 18-36 | 12 | 835 | -40 → +60 | 23,12 | | | | |

DC/DC converter da 15W:

• Serie AEE-15W con uscita singola e doppia.



figura 2-66

- Protezione contro cortocircuiti, sottotensione e sovratensione, con riavvio automatico.
- Ampia gamma della tensione di ingresso.
- Contenitore metallico schermato con piastra base isolata.
- DIP24.

| TABELLA 2-18 | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|------------------|--------|--|--|--|--|--|
| Serie AEE-15W con uscita singola e doppia | | | | | | | | | | |
| | Tensione | Tensione | Corrente | Temperatura | Prezzo | | | | | |
| Descrizione | di Ingresso | di Uscita | di Uscita | di esercizio | (€) | | | | | |
| | (V(c.c.)) | (V(c.c.)) | (mA) | (°C) | (9 | | | | | |
| 15W Singola | 9-36 | 3.3 | 4000 | -40 → +71 | 49,25 | | | | | |
| 15W Singola | 9-36 | 5 | 3000 | -40 → +71 | 49,25 | | | | | |
| 15W Singola | 9-36 | 12 | 1250 | -40 → +71 | 49,25 | | | | | |
| 15W Singola | 18-75 | 3.3 | 4000 | -40 → +71 | 49,25 | | | | | |
| 15W Singola | 18-75 | 5 | 3000 | -40 → +71 | 49,25 | | | | | |
| 15W Singola | 18-75 | 12 | 1250 | -40 → +71 | 49,25 | | | | | |
| 15W Doppia | 9-36 | ±5 | ±1500 | -40 → +71 | 52,24 | | | | | |
| 15W Doppia | 9-36 | ±12 | ±625 | -40 → +71 | 52,24 | | | | | |
| 15W Doppia | 18-75 | ±5 | ±1500 | -40 → +71 | 52,24 | | | | | |
| 15W Doppia | 18-75 | ±12 | ±625 | -40 → +71 | 52,24 | | | | | |

Analizzando le specifiche dei vari prodotti, si vede subito che l'offerta maggiore è per convertitori che hanno in uscita tensioni positive, per quelle negative ci sono solo pochi valori standard di riferimento. Sono stati reperiti anche convertitori con valori che si discostano dagli standard richiesti dal mercato, ma spesso, questi prodotti vengono realizzati su commissione, con conseguente crescita vertiginosa del prezzo e dei tempi di consegna, tutti fattori non secondari in qualsiasi progetto.

2.7.2 Microcontrollori

Il mercato dell'elettronica offre un'ampia scelta di prodotti sia per quanto riguarda le caratteristiche tecniche dei dispositivi che per i molteplici marchi, i quali si presentano con soluzioni sempre più innovative. Fare una lista di tutti i produttori sarebbe una cosa impensabile. Perciò, sono di seguito riportati i nomi di alcune tra le più importanti case costruttrici (Analog device, Freescale, Texas Instrument, St, National Semiconductor e Microchip) che, oltre ad una vasta gamma di prodotti, forniscono pacchetti completi per lo sviluppo di sistemi a microcontrollore, tipo software per la programmazione, programmatori e demo board. I diversi parametri che condizioneranno la scelta del microcontrollore sono: il numero di bit dell'architettura, il numero di pin di I/O, la presenza o meno di convertitori analogico digitali e memorie. A questo punto, è possibile iniziare ad esporre le caratteristiche tecniche ed economiche di una serie di prodotti divisi per casa costruttrice, in modo da avere una panoramica esaustiva sull'offerta di mercato.

Analog Device

La trattazione s'inizia con l'Analog device, azienda americana con sede a Norwood, Ohio. Essa, da oltre quaranta anni, mette a disposizione prodotti per l'elaborazione di segnali analogici, tipo convertitori analogico digitali, sensori di pressione e temperatura, prodotti per l'elaborazione di segnali digitali, tipo i DSP e microcontrollori. Nell'ambito dei microcontrollori, oltre agli stessi microcontrollori, offre anche sistemi di sviluppo software, programmatori e demo board. Tra i distributori per l'Italia c'è la RS-Components.

Programmatore:

Nell'offerta riguardante il programmatore sono compresi cavo di interfacciamento e software di sviluppo. Il prezzo è: 60,56 €

Demo Board:

La scheda è stata realizzata con un banco di prova interamente dedicato agli ADC, viene fornito a corredo il software di sviluppo ed il cavo di interfacciamento al PC. Il prezzo è: 87,58 €

| | TABELLA 2-19 Analog Device 8 bit | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------|-----------------|--------------|------------------------------------|---------------|--|--|--|
| Codice | clock (MHz) | IntProg Mem Byte | Int RAM Byte | Int EEPROM Byte | Porte I/O | Carat- teristiche | Prezzo (€) | | | |
| AT9 0S8 515-8PC | 8 | Flash 8K | 512 | 512 | 32 | Timer, Comparatore, RISC, core AVR | 15,32 | | | |
| Atmega 16-16AI | 8 | Flash 16K | 1K | 512 | 32 | ADC 8x10bit, PWM, core AVR | 6,55 | | | |
| Atmega 169V-8AI | 8 | Flash 16K | 1K | 512 | 53 | ADC 8x10bit, PWM, core AVR | 10,69 | | | |
| Atmega 32-16AI | 16 | Flash 32K | 2K | 1K | 32 | ADC 8x10bit, PWM, core AVR | 8,45 | | | |
| Atmega 64-16AI | 16 | Flash 64K | 4K | 2K | 53 | ADC 8x10bit, PWM, core AVR | 12,20 | | | |

Freescale Semiconductor

La Freescale Semiconductor con sede ad Austin, Texas, è uno dei primi produttori al mondo di processori embedded. Negli ultimi anni si è specializzata in realizzazione di chip per applicazioni wireless. Nell'ambito dei microcontrollori, oltre agli stessi dispositivi, offre sistemi di sviluppo software, programmatori e demo board. Tra i distributori per l'Italia c'è la RS-Components.

| | TABELLA 2-20 | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------|-----------------|--------------|----------------------|---------------|--|--|--|
| | Freescale Semiconductor 8 bit | | | | | | | | | |
| Codice | clock (MHz) | IntProg Mem Byte | Int RAM Byte | Int EEPROM Byte | Porte I/O | Carat- teristiche | Prezzo (€) | | | |
| MC68HC 908GP 32CP | 8 | Flash 32K | 512 | - | 33 | ADC 8x8 bit | 12,57 | | | |
| MC68HC 908AB 32CFU | 8.4 | Flash 32K | 1K | 512 | 32 | ADC 8x8 bit | 19,09 | | | |
| MC68HC 908GR 4CFA | 8 | Flash 4K | 384 | - | 21 | ADC 8x8 bit | 7,32 | | | |
| MC9S08 AW60 CFUE | 40 | Flash 60K | 2K | - | 54 | ADC, SPI, | 6,38 | | | |

Microcontrollori con architettura a 16 bit:

| | TABELLA 2-21 | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------|---------|------|-------|---------------|--------|--|--|--|--|
| | Freescale Semiconductor 16 bit | | | | | | | | | |
| | clock | IntProg | Int | Porte | Carat- | Prezzo | | | | |
| Codice | | Mem | RAM | | | | | | | |
| | (MHz) | Byte | Byte | I/O | teristiche | (€) | | | | |
| MC9S12 | | Flash | | | | | | | | |
| DG256 | 8 | | 12K | 29 | ADC 16x10 bit | 33,27 | | | | |
| BCFU | | 256K | | | | | | | | |
| MC68HC | 16 | _ | 1K | 23 | ADC 8x8 bit | 27,17 | | | | |
| 16Z1CFC16 | 10 | _ | 1 IX | 23 | ADC 0x0 UII | 21,11 | | | | |

| | TABELLA 2-22 | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------|-------------|--------------|---|------------|--|--|--|--|--|
| | Freescale Semiconductor 32 bit | | | | | | | | | | |
| Codice | clock (MHz) | IntProg Mem | Int RAM | Porte I/O | Carat- teristiche | Prezzo (€) | | | | | |
| MCD521 | (WITZ) | Byte | Byte | 1,0 | | (9 | | | | | |
| MCF521 1CAE66 | 66 | Flash 128K | 16K SRAM | 33 | I ² C, QSPI, ADC 8 canali | 11,18 | | | | | |
| MCF521 | 66 | Flash | 16K | 56 | I ² C , QSPI, | 16,87 | | | | | |
| 3CAF66 | | 256K | SRAM | | ADC 8 canali | -, | | | | | |
| MCF527 5LCVM166 4CFA | 166 | - | 64K SRAM | 56 | I ² C , QSPI, Ethernet, USB | 21,41 | | | | | |
| 4CFA | | | | | | | | | | | |

Demo Board:

La Freescale offre schede di valutazione per i diversi tipi di microcontrollori prodotti. Esse sono dotate di software di sviluppo e connettore RS232 per il debug seriale.

| TABELLA 2-23 | | | | | | | |
|----------------------------|------------|--|--|--|--|--|--|
| Demo Board Freescale | | | | | | | |
| Codice | Prezzo (€) | | | | | | |
| Kit per 68HC908GP32 | 194,43 | | | | | | |
| Kit per M68HC908QT4 | 29,18 | | | | | | |
| Kit per MC9S08AW60,USB I/F | 206,49 | | | | | | |
| Kit per MCF521x ColdFire | 314,29 | | | | | | |

National Semiconductor

La National Semiconductor, azienda californiana, è tra le prime aziende mondiali costruttrici di dispositivi a semiconduttore. La sua "anzianità", cinquanta anni di attività, la pone tra i maggiori produttori mondiali del settore. La sua attività è incentrata sulla produzione di integrati per applicazioni di potenza, regolatori, gestione di segnale e sensori di grandezze analogiche. Tra i suoi innumerevoli prodotti, non potevano mancare i microcontrollori. Tra i tantissimi distributori, presenti sul territorio italiano, ci sono: RS Components e Farnell Italia. Si precisa, inoltre, che la National effettua un ottimo servizio di vendita on-line, con la possibilità di richiedere, a seconda del prodotto, dei campioni omaggio.

| | TABELLA 2-24 | | | | | | | | |
|---------|--------------|---------|----------|-------|---------------|--------|--|--|--|
| | | Na | tional d | 8 bit | | | | | |
| | clock | IntProg | Int | Porte | Carat- | Prezzo | | | |
| Codice | (MHz) | Mem | RAM | I/O | teristiche | (€) | | | |
| | (IVIIIZ) | Byte | Byte | 1/0 | teristiche | (9 | | | |
| COP8SCC | 15 | OTP | 256 | 36 | 2 Comparatori | 9,19 | | | |
| R9HVA8 | 13 | 8K | 230 | 30 | analogici | 9,19 | | | |
| COP8SCC | 20 | Flash | 1K | 37 | ADC 10 bit | 11,54 | | | |
| R9HVA8 | 20 | 32K | 1 K | 37 | PWM | 11,54 | | | |
| COP8SGR | 20 | OTP | 512 | 40 | 2 Comparatori | 6,36 | | | |
| 744V8 | 20 | 32K | 312 | 70 | analogici | 0,30 | | | |

Demo Board e Programmatore:

La scheda supporta tutti i microcontrollori serie COP, funge da programmatore e permette di eseguire il debug. A corredo, sono forniti il software di sviluppo ed il cavo di interfacciamento al PC. Il prezzo è: 399,00€

Texas Instruments

La Texas Instruments, dati i suoi cinquanta anni di esperienza, recita un ruolo di primo piano nella produzione di dispositivi a semiconduttore. La sua attenzione è focalizzata in special modo ad applicazioni con segnali analogici, digitali, wireless e DLP. Negli ultimi anni sta sviluppando il settore dedicato ai microcontrollori, oltre a dispositivi per uso medicale. Tra i distributori per l'Italia c'è RS Components. La Texas Instruments, inoltre, offre un servizio di vendita on-line, con la possibilità di avere dei campioni gratuiti di prova.

| | TABELLA 2-25 | | | | | | | | | |
|---------|--------------|---------|----------|-------------|-------|--------------|--------|--|--|--|
| | | Te | exas Ins | struments 8 | bit | | | | | |
| | clock | IntProg | Int | Int | Porte | Carat- | Prezzo | | | |
| Codice | | Mem | RAM | EEPROM | | | | | | |
| | (MHz) | Byte | Byte | Byte | I/O | teristiche | (€) | | | |
| TMS370C | 5 | OTP | 256 | 25.6 | 26 | ADC 8x8 bit, | 26.07 | | | |
| 742AFNT | 5 | 8K | 256 | 256 | 36 | PWM | 26,07 | | | |
| TMS370C | 5 | OTP | 512 | 512 | 44 | ADC 8x8 bit, | 26.05 | | | |
| 756AFNT | 5 | 8K | 312 | 312 | 44 | PWM | 26,95 | | | |

Microcontrollori con architettura a 16 bit:

| TABELLA 2-26 | | | | | | | | | |
|--------------|-------|----------|---------|---------|-------------|--------|--|--|--|
| | | Texas In | istrume | ents 16 | bit | | | | |
| | clock | IntProg | Int | Porte | Carat- | Prezzo | | | |
| Codice | | Mem | RAM | | | | | | |
| | (MHz) | Byte | Byte | I/O | teristiche | (€) | | | |
| MSP430F | 8 | Flash | 1 V | 48 | ADC,2 DAC, | 11,24 | | | |
| 157IPM | 0 | 32K | 32K 1K | | Comparatore | 11,24 | | | |
| MSP430F | 0 | Flash | 2K | 40 | ADC,2 DAC, | 15,76 | | | |
| 169IPM | 8 | 60K | 210 | 48 | Comparatore | 13,70 | | | |
| MSP430F | 0 | Flash | 5K | 40 | ADC,2 DAC, | 17,18 | | | |
| 16I2PM | 8 | 55K | JK | 48 | Comparatore | 17,10 | | | |

Demo Board e Programmatore:

La scheda supporta tutti i microcontrollori serie MPS430, funge da programmatore e permette di eseguire il debug, la porta di collegamento è USB. A corredo sono forniti il software di sviluppo ed il cavo di interfacciamento al PC. Il prezzo è: 107,15€

ST Microelectronics

La ST Microelectronics è tra le aziende leader nel settore di dispositivi a semiconduttore per l'elettronica. L'offerta di prodotti è alquanto varia. Infatti, si trovano dai semplici diodi ai chip più sofisticati, oltre ad una serie di software e tools di sviluppo dedicati alla varie applicazioni. I distributori per l'Italia sono: RS Components e Silverstar. Come tutte le grosse aziende, anche ST offre un servizio di vendita on-line e campioni di prova gratuiti.

| | TABELLA 2-27 | | | | | | | | | | |
|--------|---------------------------|---------|------|--------|-------|--------------|--------|--|--|--|--|
| | ST Microelectronics 8 bit | | | | | | | | | | |
| | clock | IntProg | Int | Int | Porte | Carat- | Prezzo | | | | |
| Codice | (MHz) | Mem | RAM | EEPROM | I/O | teristiche | (€) | | | | |
| | (WITIZ) | Byte | Byte | Byte | 1/0 | teristiche | (+) | | | | |
| ST62T0 | 8 | OTP | 64 | | 9 | ADC 4x8 bit | 3,85 | | | | |
| 1CB6 | 0 | 1836 | 04 | - | 9 | ADC 4x8 UII | 3,63 | | | | |
| ST62T1 | | OTP | 64 | | | ADC 8x8 bit | 5,69 | | | | |
| 0CB6 | 8 | 1836 | 04 | - | 12 | ADC 6x6 UII | 3,09 | | | | |
| ST62T2 | 0 | OTP | 64 | | 20 | ADC 16x8 bit | 7,76 | | | | |
| 5CM6 | 8 | 3884 | 04 | - | 20 | ADC 10x8 oit | 7,70 | | | | |
| ST72C3 | | Flash | 512 | | | ADC 8x8 bit, | 9,02 | | | | |
| 14J4B6 | 8 | 16K | 312 | - | 32 | PWM | 9,02 | | | | |
| ST72C3 | 0 | Flash | 512 | 25.5 | | ADC 8x8 bit, | 13,53 | | | | |
| 34N4B6 | 8 | 16K | 312 | 256 | 44 | PWM | 13,33 | | | | |

Microcontrollori con architettura a 16 bit:

| | TABELLA 2-28 | | | | | | | | | |
|--------|---------------------------|----------|--------------|-------|---------------|--------|--|--|--|--|
| | ST Microelectronics 8 bit | | | | | | | | | |
| | clock | IntProg | Int | Porte | Carat- | Prezzo | | | | |
| Codice | (MHz) | Mem | RAM | I/O | teristiche | (€) | | | | |
| | (MITIZ) | Byte | Byte | 1/0 | teristiche | (+) | | | | |
| STR710 | 16 | Flash | 32K | 48 | ADC 4x12 bit, | 14,67 | | | | |
| FZ1T6 | 10 | 128K+16K | 32 IX | 40 | Core ARM | 17,07 | | | | |
| STR710 | 1.5 | Flash | 64K | 40 | ADC 4x12 bit, | 16,29 | | | | |
| FZ2T6 | 16 | 128K+16K | 04K | 48 | Core ARM | 10,29 | | | | |
| STR711 | 1.6 | Flash | 32K | 20 | ADC 4x12 bit, | 11,62 | | | | |
| FR1T6 | 16 | 128K+16K | 32 IX | 30 | Core ARM | 11,02 | | | | |
| STR711 | 1.0 | Flash | 64K | 20 | ADC 4x12 bit, | 13,96 | | | | |
| FR2T6 | 16 | 256K+16K | 04IX | 30 | Core ARM | 13,90 | | | | |
| STR712 | 1.6 | Flash | 64K | 22 | ADC 4x12 bit, | 14,23 | | | | |
| FR2T6 | 16 | 256K+16K | 0+IX | 32 | Core ARM | 14,23 | | | | |

Demo Board:

La scheda per gli ST62 offre, a corredo, il software di sviluppo ed il cavo di interfacciamento al PC, con comunicazione parallela e RS232. Il prezzo è: 239,70€

Programmatori:

Oltre al programmatore è in dotazione il cavo di comunicazione col PC. Il prezzo è: 114,15.

Demo Board e Programmatore:

Collegamento USB, interruzione di codice in tempo reale e a corredo il software di sviluppo ed il cavo di comunicazione col PC. Il prezzo è: 286,26.

Microchip Technology

La Microchip Technology, azienda con sede centrale a Chandler, in Arizona, è specializzata nella produzione di sistemi embedded per il controllo. La vasta scelta di microcontrollori e dispositivi preposti al controllo, tipo sensori di temperatura e pressione o al trattamento dei segnali, tipo convertitori analogico digitali, la pone come azienda leader nel settore del controllo digitale. Altro fattore, che fa dei prodotti della Microchip una scelta ottimale, è l'elevato rapporto qualità prezzo. La distribuzione per l'Italia è affidata tra le tante ditte a RS Components e Farnell Italia. La Microchip offre un ottimo servizio on-line, con la possibilità di avere in campione di prova gratuito quasi tutti i prodotti in catalogo. Inoltre mette a disposizione software di sviluppo e tools, scaricabili gratuitamente, nelle versioni base, dal suo sito.

| | TABELLA 2-29 | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------------|---------|------|--------|-------|--------------|--------|--|--|--|--|
| | Microchip Technology 8 bit | | | | | | | | | | |
| | clock | IntProg | Int | Int | Porte | Carat- | Prezzo | | | | |
| Codice | (MHz) | Mem | RAM | EEPROM | I/O | teristiche | (€) | | | | |
| | (IVIIIZ) | Word | Byte | Byte | 1/0 | teristicite | (9 | | | | |
| PIC16F | 20 | Flash | 25 | | 12 | ICP | 0,74 | | | | |
| 54-I/P | 20 | 768 | 23 | - | 12 | ICI | 0,74 | | | | |
| PIC16F | • • | Flash | 72 | | • | ICP | 1,25 | | | | |
| 57-I/P | 20 | 3072 | 12 | - | 20 | ICI | 1,23 | | | | |
| PIC16F | 20 | Flash | 72 | | 10 | 2 ADC 8 bit | 1,55 | | | | |
| 505-I/P | 20 | 1536 | 12 | - | 12 | 2 ADC 6 UIT | 1,33 | | | | |
| PIC16F | 20 | Flash | 18 | 27.5 | 1.0 | ADC 12 can., | 2,16 | | | | |
| 785- I/P | 20 | 3584 | 10 | 256 | 18 | PWM | 2,10 | | | | |
| PIC16F | 20 | Flash | 256 | | 2.7 | 5x ADC, | 3,65 | | | | |
| 913- I/SO | 20 | 7168 | 230 | - | 25 | 60 seg. LCD | 3,03 | | | | |

| | TABELLA 2-30 | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------|--------------|---|------------|--|--|
| | | Mi | crochip | Technolog | y 16 bi | t | | | |
| Codice | clock (MHz) | IntProg Mem Bytes | Int RAM Byte | Int EEPROM Byte | Porte I/O | Carat- teristiche | Prezzo (€) | | |
| PIC16F 72-I/SP | 20 | Flash 2K | 128 | - | 22 | I ² C/SPI ADC 5x8 bit PWM | 4,70 | | |
| PIC16F 676-I/P | 4 | Flash 1K | 64 | 128 | 12 | USART/SCI ADC 8x10 bit | 11,23 | | |
| PIC16F 74-I/L | 20 | Flash 4K | 192 | - | 33 | USART/SCI I ² C, PWM ADC 8x8 bit | 10,34 | | |
| PIC16F 77- I/P | 20 | Flash 8K | 368 | - | 33 | USART/SCI I ² C, PWM ADC 8x8 bit | 11,44 | | |
| PIC16F 874 | 20 | Flash 4K | 192 | 128 | 33 | USART/SCI I ² C, PWM 8 ADC | 12,73 | | |
| PIC16F 877 | 20 | Flash 8192 | 368 | 256 | 36 | USART/SCI I ² C, PWM 8 ADC | 11,42 | | |
| PIC16F 877A | 20 | Flash 8192 | 368 | 256 | 36 | USART/SCI I ² C, PWM 8 ADC | 8,85 | | |
| PIC18F 4450 | 48 | Flash 16K | 1536 | 256 | 34 | USART/SCI I ² C, USB PWM, 8 ADC | 14,25 | | |

Per dovere di cronaca, si precisa che la microchip produce anche un'ampia gamma di

microcontrollori con architettura a 32 bit, ma, nei modelli esposti, si trova già un

adeguato adempimento alle esigenze di progetto.

Demo Board:

La scelta di demo board è alquanto vasta. Troviamo alcune schede con LCD, ingresso

USB, area di prototipazione, e vari dispositivi a corredo, tipo led, potenziometri, sensori

di temperatura e sirena piezo. Il costo medio si aggira attorno ai 110,00€

Programmatori:

Il modulo programmatore è disponibile in due versioni, quella ws e quella light, sono

dotati entrambi di interfaccia USB e RS232, eseguono il debugging in tempo reale. Le

due versioni hanno a corredo il cavo USB, solo per la ws è presente l'alimentatore ed il

cavo RS232. I prezzi sono:

Versione ws: 208,12€

Versione light: 149,16€

A conclusione della panoramica sullo stato dell'arte dei microcontrollori, si può

affermare che, una volta determinati i compiti che il microcontrollore deve assolvere

all'interno del progetto, sicuramente si troveranno un numero elevato di prodotti, atti a

soddisfare le specifiche esigenze di progetto. Resta evidente, alla luce delle ricerche

effettuate, la netta superiorità dei prodotti della Microchip Technology sia dal punto di

vista di varietà di prodotti sia per il tools a corredo sia, ancora, per l'offerta economica.

2-118

2.7.3 Sensori e trasduttori di corrente

Nel campo dei trasduttori di corrente, una prima distinzione è data, oltre che dalle diversità costruttive viste nel paragrafo 2.6, dal tipo di montaggio che sarà realizzato, cioè se su circuito stampato o altro. Infatti, se per i componenti per circuito stampato si hanno a disposizione dei pin a saldare, che costituiscono tutti i terminali necessari al sensore per funzionare nel modo corretto, per altri tipi di montaggio, a pannello o guida DIN, i trasduttori hanno bisogno del cavo in cui circola la corrente da misurare per poter effettuare la misurazione. Altre differenze sono dovute alla portata dei dispositivi sia in termini di corrente che deve essere misurata, sia per la tensione di uscita, che trasmette l'informazione. Ancora, i trasduttori, differiscono per peso, ingombro, tensione di alimentazione, temperatura di funzionamento e tempi di risposta. Tra i maggiori costruttori di questo tipo di componenti ci sono Honeywell e la LEM. Si analizzano di seguito i prodotti che le due aziende mettono a disposizione.

Honeywell

La Honeywell è un'azienda multinazionale con sede centrale negli Stati Uniti, essa opera in diversi settori, tra cui controllo ed automazione sia industriale che domestica. La sua storia, centoventi anni di attività, la colloca tra le più importanti aziende mondiali, soprattutto nel campo del controllo della temperatura. Dal 1964 ha sedi operative distribuite su tutto il territorio italiano. Per la distribuzione i suoi prodotti si trovano sui cataloghi RS Components e Farnell Italia.

• Trasformatori di corrente con sensore raziometrico e ad effetto Hall:

Il sensore LOHET I, è un dispositivo raziometrico con un tempo di reazione pari a 3µs. Esso è un sensore che produce, in uscita, una tensione proporzionale all'intensità del campo magnetico al quale sono esposti. Esso può essere montato all'interno di un trasformatore di corrente ed usato per la misurazione della corrente.

Il sensore LOHET II è un circuito integrato ad effetto Hall ad alte prestazioni, con una stabilità in temperatura ed una deriva di temperatura dieci volte inferiore a quella del LOHET I.



figura 2-67

| TABELLA 2-31 LOHET I e LOHET II | | | |
|--|-------------------------|------------|--|
| Sigla | Campo magnetico (Gauss) | Prezzo (€) | |
| LOHET I | ±400 | 14,29 | |
| LOHET II | ±100 | 19,71 | |
| Trasformatori di corrente per LOHET I | | | |
| Sigla | Portata (A) | Prezzo (€) | |
| Montaggio dal basso | 57 | 24,95 | |
| Montaggio laterale | 57 | 23,53 | |
| Trasformatori di corrente per LOHET II | | | |
| Sigla | Portata (A) | Prezzo (€) | |
| Montaggio dal basso | 72 | 27,93 | |
| Montaggio dal basso | 150 | 29,93 | |

• Sensori di corrente ad anello chiuso:

Questi sensori sono indicati per applicazioni dove la corrente da misurare è molto elevata. Si basano sul principio dell'effetto Hall con compensazione ed è possibile variarne la portata. Montaggio su circuito stampato.



figura 2-68

| TABELLA 2-32 | | |
|--|-------------|------------|
| Sensori di corrente ad anello chiuso | | |
| Modello | Portata (A) | Prezzo (€) |
| Alta densità di corrente | ±70 | 23,96 |
| Alta densità di corrente ± 100 26,42 | | |
| A più portate | 5-36 | 20,51 |

Lem

La Lem, azienda multinazionale svizzera, leader nel settore della misurazione elettronica, ha diversi stabilimenti, soprattutto in Cina e Giappone. L'ampia gamma di prodotti, per la misurazione ed il controllo, soddisfa richieste di qualsiasi tipo, specialmente nelle applicazioni di controllo. E' distribuita in Italia, tra le varie aziende, da RS Components e Farnell Italia.

• Trasduttore di corrente ad anello modello DK:

- Uscita di tensione (0-10V) oppure di corrente, (4-20mA).
- Misurazione c.c. .
- Montaggio a pannello.
- Precisione di lettura $\pm 1\%$.
- Consumo elettrico 100mA.
- Corrente nominale 50-400A.



figura 2-69

| TABELLA 2-32 | | |
|--|-------------|------------|
| Trasduttore di corrente ad anello modello DK | | |
| Modello | Portata (A) | Prezzo (€) |
| Uscita 0-10V | Max 100 | 224,58 |
| Uscita 4-20mA | Max 100 | 251,86 |

• Trasduttore di corrente HAIS-P:

- Trasduttore basato sul principio dell'effetto Hall.
- Misurazione corrente mista, c.a. e c.c. .
- Montaggio su PCB.
- Precisione di lettura $\pm 1\%$.
- Corrente nominale 50-400A.

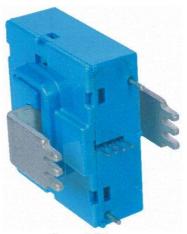


figura 2-70

| TABELLA 2-33 | | |
|--------------------------------|-------------|------------|
| Trasduttore di corrente HAIS-P | | |
| Modello | Portata (A) | Prezzo (€) |
| HAIS 50-P | Max 50 | 16,07 |
| HAIS 100-P | Max 100 | 16,07 |

• Trasduttore di corrente mod. HXS:

- Trasduttore basato sul principio dell'effetto Hall.
- Misurazione corrente mista, c.a. e c.c. .
- Montaggio su PCB.
- Precisione di lettura $\pm 1\%$.
- Corrente nominale 10-50A.



figura 2-71

| | TABELLA 2-34 | | |
|----------------------------------|--------------|----------|------------|
| Trasduttore di corrente mod. HXS | | | |
| Modello | Por | tata (A) | Prezzo (€) |
| HXS 10-NP/ | SP3 M | lax 10 | 8,82 |
| HXS 20-N | IP M | [ax 20 | 8,82 |
| HXS 50-N | IP M | lax 50 | 8,82 |

• Trasduttore di corrente mod. HY-P:

- Trasduttore basato sul principio dell'effetto Hall.
- Misurazione corrente mista, c.a. e c.c. e a impulsi.
- Montaggio su PCB.
- Precisione di lettura $\pm 2\%$.
- Corrente nominale 10-25A.

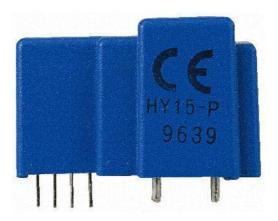


figura 2-72

| TABELLA 2-35 | | |
|-----------------------------------|-------------|------------|
| Trasduttore di corrente mod. HY-P | | |
| Modello | Portata (A) | Prezzo (€) |
| HY 10-P | Max 10 | 14,90 |
| HY 15-P | Max 15 | 14,90 |
| HY 20-P | Max 20 | 14,90 |
| HY 25-P | Max 25 | 14,90 |

• Trasduttore di corrente mod. LAH-P:

- Trasduttore progettato per la misurazione elettronica della corrente.
- Misurazione corrente mista, c.a. e c.c. e a impulsi.
- Corrente nominale 25-100A.
- Precisione di lettura $\pm 0.3\%$.



figura 2-73

| I | | |
|------------------------------------|-------------|------------|
| TABELLA 2-36 | | |
| Trasduttore di corrente mod. LAH-P | | |
| Modello | Portata (A) | Prezzo (€) |
| LAH 25-NP | Max 25 | 18,94 |
| LAH 50-NP | Max 50 | 20,40 |
| LAH 100-NP | Max 100 | 21,86 |

• Trasduttore di corrente mod. LTS-P:

Le principali caratteristiche sono:

- Trasduttore basato sul principio dell'effetto Hall.
- Tre differenti misurazioni nominali tramite l'uso di piedini diversi, 8-12-25A.
- Montaggio su PCB.
- Precisione di lettura $\pm 0.7\%$.



figura 2-74

| TABELLA 2-37 | | |
|------------------------------------|-------------|------------|
| Trasduttore di corrente mod. LTS-P | | |
| Modello | Portata (A) | Prezzo (€) |
| LTS 6-NP | Max 6 | 12,43 |
| LTS 15-NP | Max 15 | 11,56 |
| LTS 25-NP | Max 25 | 11,56 |

A conclusione della trattazione, si ricorda che tutti i prezzi inseriti sono da ritenersi IVA esclusa.

CAPITOLO 3 PROGETTO HARWARE

3.1 Schema Elettrico

In questa parte saranno sviluppate le grandi linee tracciate nel capitolo 1, iniziando ad entrare nello specifico delle varie sezioni del progetto. Verranno individuate le tipologie di componenti necessari alla realizzazione della PDU, senza addentrarsi nella scelta specifica. Inoltre saranno introdotte, a seguito di considerazioni di carattere elettronico, altri dispositivi scaturiti dalla suddetta analisi. Anche in questa sede saranno considerate distinte le tre sezioni che compongono la PDU: sezione di potenza, sezione di controllo e sezione di misura.

Sezione di Potenza

Dall'analisi della sezione di potenza, si ricava la necessità di nove convertitori DC/DC e di nove organi di interruzione. I convertitori non dovranno essere tutti dello stesso tipo, in quanto le tensioni e le correnti di carico non hanno tutte la stessa dinamica. Dalla descrizione dei carichi, riportata nelle specifiche, si evidenzia il fatto che il PC di bordo ha un alimentatore ad esso dedicato che richiede in ingresso una tensione di 24V ±4V. Discorso analogo per l'amplificatore RF, 24V ±4V, che è dotato a bordo di dispositivi che si occupano della sua alimentazione. Queste due considerazioni portano ad effettuare una prima scelta progettuale, in quanto risulta conveniente scegliere una tensione di ingresso di 24V, in modo da evitare l'utilizzo di due convertitori: uno per il PC di bordo e l'altro per l'amplificatore RF. Definendo la tensione della sorgente, il numero di convertitori risulta ridotto da nove a sette. Devono, però, ancora essere considerati uno o più convertitori, che, nello schema a blocchi di figura 1-13, riportato nel capitolo 1, sono stati omessi, dedicati all'alimentazione dei vari componenti delle altre sezioni della PDU. Per conoscere, nello specifico, sia il numero dei convertitori, che occorreranno per alimentare le apparecchiature dell'alimentatore, sia il tipo di tensione e corrente che essi dovranno fornire, si devono definire i componenti. Per ora, si supponga di aver bisogno di un unico convertitore del quale non è conosciuta né la corrente e né la tensione.

CORVERTATIONS PROTEZIONE CONVENTITORE SWITCH RE 1 PROTEZIONE В CONVERTITORE SWITCH BY & Α PROTEZIONE TPROTEZIONE TECONVERTITORE PROTEZIONE R Ι PROTEZIONE E24V CONVENTITORE PROTEZIONE AMPLIFICATORE PROTEZIONE PROTEZIONE Sezione di Potenza SEZIONE DI CONTROLLO SEZIONE DI MISURA

Lo schema a blocchi della sezione di potenza diventa (fig.3-1):

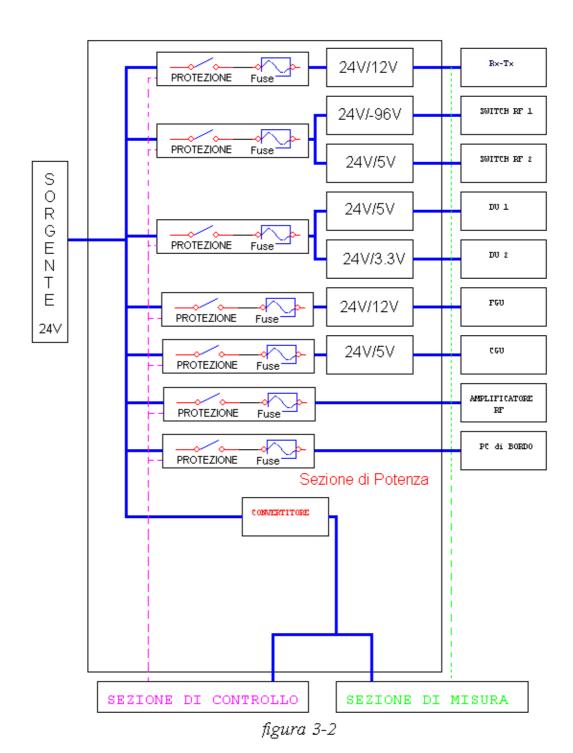
In primo luogo, si inizino a definire, in maniera più approfondita, i blocchi che costituiscono lo schema di figura 3-1. I convertitori dovranno realizzare una conversione da 24V alla tensione dello specifico carico. Analizzando la tabella 3-1 seguente, in cui sono riportate le specifiche, si nota che, alla luce delle considerazioni fatte nel capitolo 2, particolare attenzione merita il carico Switch RF1.

figura 3-1

| TABELLA 3-1 | | |
|------------------|-------------------|-------------------|
| | Specifiche | |
| CARICO | TENSIONE NOMINALE | CORRENTE NOMINALE |
| PC di bordo | 24V ±4V | 3A |
| Amplificatore RF | 24V ±4V | 12A |
| CGU | 5V ±0.5V | 1A |
| FGU | 12V ±0.5V | 1A |
| DU1 | 5V ±0.5V | 4A |
| DU2 | 3.3V ±0.5V | 1A |
| Switch RF 1 | -96V ± 2V | 5mA |
| Switch RF 2 | 5V ± 0.5V | 100mA |
| Rx-Tx | 12V ±0.5V | 1A |

Infatti, se per gli altri valori di tensione, il mercato mette a disposizione una serie di prodotti pronti all'uso, per questo valore di tensione bisogna realizzare una macchina specifica, dedicata a questo carico. Per questo motivo, sarà progettata, separatamente, la macchina di conversione della tensione, dedicata a questa sezione. Anche se la sezione Switch RF necessita di due tensioni distinte con relative correnti ad esse associate, risulta errato considerare i due carichi come un'entità separata. Infatti, nessuno dei due può prescindere dal corretto funzionamento dell'altro. Quindi, risulta inutile considerare due organi di interruzione nella fase di protezione. Rimanendo in tema di protezione, si ricorda che è stato preso in considerazione il monitoraggio della corrente sui vari carichi e che, mediante le sezioni di misura e controllo, i carichi e i dispositivi di potenza sono protetti da eventuali anomalie. Pur tuttavia, è opportuno inserire dei componenti che abbiano una risposta più veloce di quella che il sistema Controllo-Misura possa fornire, in modo da proteggere anche quei carichi che si è scelto di non controllare. I componenti, che saranno inseriti, sono dei fusibili del tipo "resettable", che interrompono la corrente quando si supera un determinato valore e, dopo un certo tempo, permettono nuovamente la conduzione. In questo modo, si riesce a proteggere anche la sezione Switch RF per la quale era stato escluso il monitoraggio di tensione e di corrente. Prima di andare a realizzare lo schema, le stesse considerazioni fatte per lo Switch RF possono essere ripetute anche per la Digital Unit. Infatti, pur essendo la D.U. un carico che richiede due tensioni distinte, non ha senso dividerlo in fase di protezione, quindi, in questo caso, verrà considerato un solo organo di protezione.

Lo schema è riportato nella figura 3-2:



3-5

Per quanto riguarda il carico Switch RF2, si potrà utilizzare uno dei tanti convertitori 24V/5V che l'industria dell'elettronica di potenza mette a disposizione. I problemi nascono, come accennato in precedenza, per il carico Switch RF1, in quanto, rivedendo le indagini di mercato riportate nel capitolo 2, non si hanno a disposizione delle macchine che restituiscano una tensione nominale pari a quella desiderata. Le strade da seguire, per soddisfare le specifiche, sono diverse. Ne saranno descritte due, in modo da poter avere a disposizione due metodi diversi che permettano di effettuare delle scelte sia di carattere economico, che in termini di tempi di realizzazione.

1. Tecnica con DC/DC e zener

Questa tecnica utilizza sostanzialmente dei DC/DC converter e dei diodi zener per ottenere in uscita il valore imposto dalle specifiche di progetto. Dai dati riportati nel capitolo 2, risulta che non si hanno a disposizione molti tipi di macchine, che abbiano, come tensione nominale di uscita, una tensione di valore negativo tanto elevato. Pertanto, la scelta risulta molto limitata, quasi forzata. Si può dunque far precedere, per questo caso, la trattazione del paragrafo sulla scelta dei componenti, andando ad individuare, nel componente MHV 12-180S15N della Traco Powers, il convertitore adatto al progetto. Con riferimento al datasheet del componente riportato nell'Appendice A si ha (tab. 3-2):

| TABELLA 3-2 | | |
|---|----------|-------|
| MHV 12-180S15N | | |
| Input voltage range Output voltage Output current max | | |
| 12Vdc | -180 VDC | 15 mA |

Si nota che la tensione di ingresso è 12V, quindi, a monte di questo convertitore, andrà posto un altro convertitore che converta la tensione della sorgente di 24 V in una a 12 V. In uscita, c'è una tensione di –180 V

che deve essere portata a -96 V; l'idea è quella di un circuito con un resistore e dei diodi zener, in modo da avere una tensione, il più stabile possibile, in uscita (fig. 3-3).

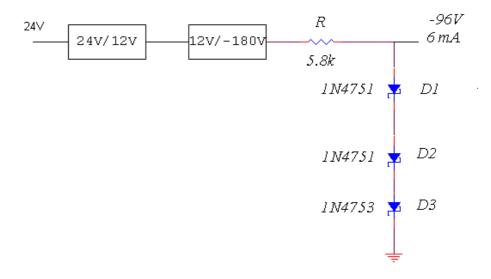


figura 3-3

Si valuti il valore della resistenza. Dal datasheet dei diodi zener 1N4751 si vede che I_Z =8.5mA, quindi, avendo in ingresso -180 V e, volendo una tensione di uscita pari a -96 V con una corrente di 6 mA, si ha che:

$$R = \frac{V_I - V_Z}{I_Z + I_L} = \frac{180 - 96}{(8.5 + 6) \cdot 10^{-3}} \cong 5.8k\Omega$$

La potenza dissipata da *R* è:

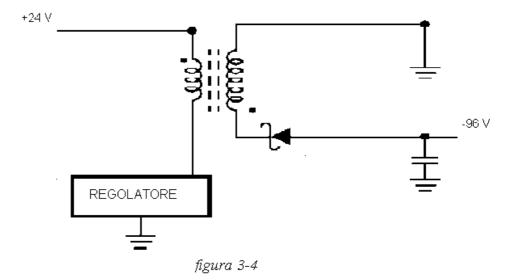
$$R = V_R \cdot I_R = 84 \cdot 14.5 \cdot 10^{-3} \cong 1.2W$$

per cui si sceglieranno due resistori da 2 0.66W e $12k\Omega$ collegati in parallelo.

2. Tecnica con fly-back

La soluzione con fly-back prevede, come schema di principio, l'utilizzo di un trasformatore, un regolatore fly-back , un raddrizzatore ed un filtro. Si dovrà, quindi, progettare un trasformatore che permetta di ottenere la tensione negativa desiderata, dimensionare opportunamente il filtro e scegliere il tipo di regolatore che più si addica al caso. Sempre senza addentrarsi troppo nella specificità dei componenti in gioco, cosa rimandata al prossimo paragrafo, si può fornire una struttura generale che ben si adatta alla maggioranza dei regolatori in commercio, tralasciando i calcoli relativi al filtro, al trasformatore e al regolatore stesso.

Lo schema è il seguente (fig. 3-4):



Ci saranno, nello schema reale, altri ingressi da fornire al regolatore, che porteranno anche all'introduzione di componenti che richiedono un progetto specifico, considerazioni che sono rimandate, come precedentemente detto, al paragrafo 3.2.

Dopo aver preso visione delle due tecniche precedentemente esposte, è evidente la semplicità realizzativa della prima tecnica rispetto alla seconda. Però, sono da considerare i costi sicuramente più elevati della prima tecnica e i tempi di approvvigionamento troppo lunghi, rispetto alle esigenze di consegna che il committente richiede, per cui non resta che optare per la seconda soluzione.

Sezione di Misura

Il punto di partenza, anche in questo caso, è l'analisi del sistema della sezione di misura del capitolo 1. Quindi si considerino otto tensioni e sette correnti. La scelta della tensione di 24V della sorgente, fatta nella trattazione dello schema elettrico della sezione di potenza, ha eliminato l'esigenza di due convertitori: uno per il PC di bordo ed un altro per l'amplificatore RF, ponendo l'alimentazione di questi due carichi allo stesso potenziale della sorgente. Così, con un unico dispositivo, si riesce a monitorare la tensione di ingresso e quella sui carichi Amplificatore RF e PC di bordo.

Lo schema a blocchi della sezione di misura fino ad ora considerata diventa (fig. 3-5):

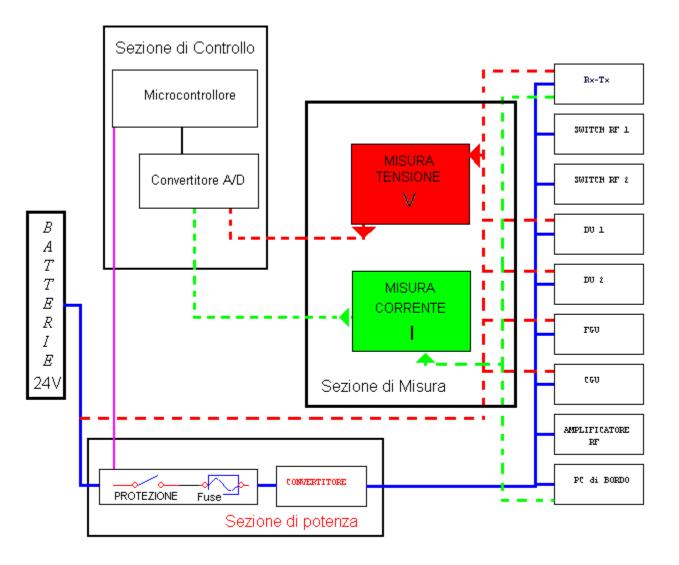


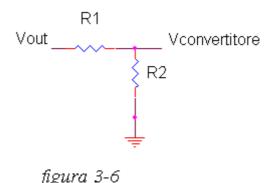
figura 3-5

Resta, ora, da valutare con che tipo di strumenti effettuare le misurazioni.

Si consideri, in primo luogo, la misurazione delle correnti. Nel capitolo 2, sono state messe in risalto le differenze tra le varie tipologie di sensori attualmente in commercio. Considerando l'entità delle correnti che interessano il progetto, sembra opportuno optare per un sensore ad effetto Hall per circuito stampato, la cui scelta specifica del componente si rimanda al paragrafo successivo. Questo tipo di dispositivo assicurerà un minimo ingombro con un'efficienza elevata.

Per quello che concerne la misura di tensione, è conveniente realizzare un partitore. L'introduzione di un partitore di tensione è necessaria a causa del valore massimo di tensioni che saranno considerate. Infatti, indipendentemente dal tipo di convertitore analogico/digitale che si utilizzerà, il range di tensioni di interesse supera, di gran lunga, quello del convertitore, anche se il convertitore utilizzasse uno standard TTL o CMOS. Quindi, realizzando una proporzione tra la tensione sul carico e quella da inviare al convertitore della sezione di controllo.

Lo schema del partitore è (fig. 3-6):



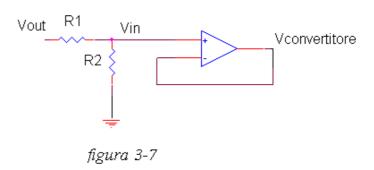
la proporzionalità tra V_{convertitore} e V_{out} sarà data dalla relazione

$$V_{convertitore} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out}$$

L'obiettivo, in fase di calcolo dei valori delle resistenze, sarà quello di ottenere la massima risoluzione all'ingresso del convertitore.

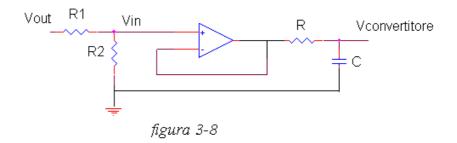
Per evitare problemi di interfacciamento tra il partitore ed il convertitore, è conveniente introdurre un buffer tra le due parti, in modo da trasferire al meglio l'informazione, senza che i due dispositivi interagiscano in modo non corretto. Il buffer sarà realizzato con un amplificatore operazionale in configurazione non invertente, in modo da avere una struttura con guadagno di tensione unitario.

Il circuito diventa (fig. 3-7):



Per eliminare eventuali disturbi dovuti a rumore, essendo i segnali da misurare a frequenza nulla, si introduce, a valle del buffer, un filtro passa-basso realizzato da un filtro RC.

Lo schema diventa (fig. 3-8):



Lo sviluppo dello schema di fig. 3-8 ha inizio col progettare il filtro passa-basso e, quindi, nello specifico, col determinare R e C. Si isoli il circuito costituente il filtro dal restante circuito per la misurazione della tensione (fig. 3-9).

Il filtro che sarà realizzato è un filtro del primo ordine:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + sRC} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

Viene scelta una frequenza di taglio pari a f=100Hz, valore che sembra ampiamente lontano dalle frequenze che possono provocare dei disturbi al circuito, in quanto, tali disturbi, indipendentemente dalla scelta specifica dei vari componenti, avranno una frequenza dell'ordine dei KHz. La frequenza di taglio è quella frequenza alla quale il guadagno di tensione si attenua di -3dB. Quindi, fissando uno tra i valori di C e R, si determina il valore incognito che consente di avere una frequenza di taglio pari a f=100Hz. Si fissi il valore di C. Con riferimento alla tabella 3-3, viene scelto un valore pari a C=100nF.

| TABELLA 3-3 Valori di capacità in funzione della frequenza di taglio | | |
|---|---|--|
| Frequenza di taglio | Capacità in nanoFarad | |
| 10-100Hz | 100-120-150-180-220-270-330-390-470-560 | |
| 100-500Hz | 22-27-33-39-47-56-68-82-100-120 | |
| 500-1000Hz | 6.8-8.2-10-12-15-18-22-27-33-39 | |
| 1000-5000Hz | 2.7-3.3-3.9-4.7-5.6-6.8-8.2-10-12-15 | |
| 5000-10000Hz | 1-1.2-1.5-1.8-2.2-2.7-3.3-3.9-4.7-5.6 | |
| 10000-20000Hz | 0.56-0.68-0.82-1-1.2-1.5-1.8-2.2-2.7-3.3 | |
| 20000-40000Hz | 0.33-0.39-0.47-0.56-0.68-0.82-1-1.2-1.5-1.8 | |

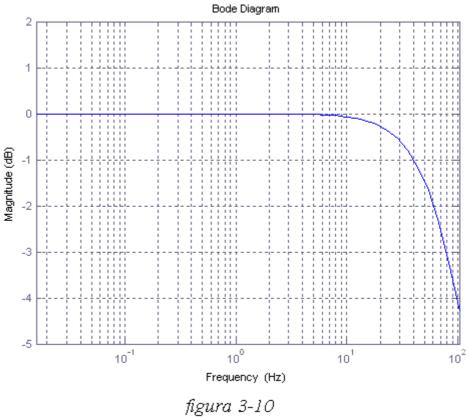
$$R = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{159000}{100 \cdot 100} = 15.9k\Omega$$

Scegliendo un valore standard per R pari a $R = 20k\Omega$, si ha:

$$f = 75Hz$$

frequenza più bassa di quella voluta, che pone in condizioni di maggiore immunità da disturbi.

Il filtro avrà quindi il seguente diagramma di bode dei moduli (fig. 3-10):



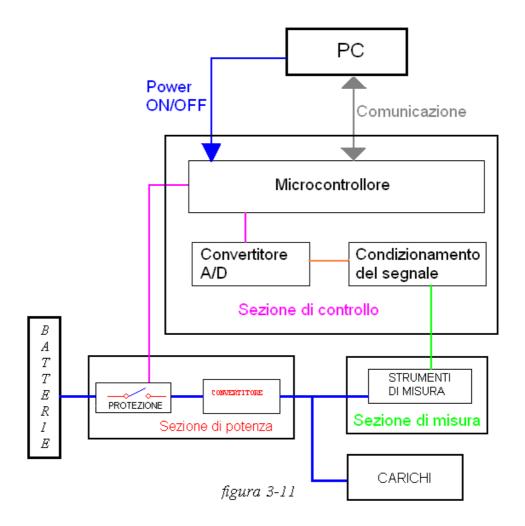
I parametri del filtro saranno, in conclusione, f = 75Hz, $R = 20k\Omega$, C = 100nF.

Il filtro sarà lo stesso per tutti i partitori di tensione.

Il calcolo del valore delle resistenze che costituiscono i vari partitori, sarà oggetto del prossimo paragrafo, nel quale verrà definita la scelta del convertitore analogico digitale.

Sezione di controllo

Nello schema a blocchi ricavato nel capitolo 1 per la sezione di Controllo si trovano riassunte tutte le caratteristiche che il microcontrollore deve avere (fig. 3-11):



Prima cosa da fare è l'individuazione del numero di porte I/O che servono per la gestione ed il controllo del sistema. Gli organi di protezione, che, per ora, sono stati schematizzati come interruttori, sono sette. Quindi, serviranno sette porte per il controllo dei suddetti interruttori ed una porta per il power on/off. L'analisi fin qui

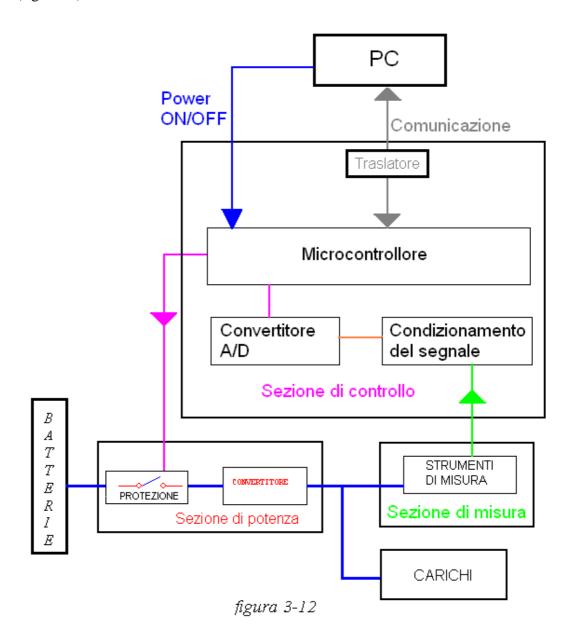
svolta, ha individuato otto porte che devono essere aggiunte a quelle che servono per l'alimentazione del dispositivo, nonché tutta la circuiteria necessaria per il suo corretto funzionamento tipo: oscillatore, reset e programmazione. Per la conversione analogico digitale, si ricorda che devono essere acquisite otto correnti e sei tensioni. Questo non vuol dire che c'è la necessità di otto più sei, cioè quattordici porte, per soddisfare la richiesta precedente. Infatti, la determinazione di questo parametro sarà strettamente vincolata alla scelta del tipo di convertitore analogico digitale e se esso è integrato o meno nel microcontrollore. Discorso più approfondito merita la comunicazione. Infatti, per interfacciare il microcontrollore con un qualsiasi PC esterno, risulta conveniente utilizzare il protocollo RS232. In genere, i segnali utilizzati dai sistemi digitali sono "TTL compatibili", cioè variano tra 0 e 5V, oppure variano tra 0 V e 3,3 V. Quindi, non sono direttamente compatibili con la standard RS232, argomento approfondito nella trattazione teorica del capitolo 2. C'è bisogno di un dispositivo che trasli il livello della tensione. In commercio esistono appositi traslatori di livello che hanno il compito di fornire sia in trasmissione che in ricezione gli opportuni livelli, pur non modificando la forma del segnale trasmesso.

Alcuni integrati, ad esempio i classici 1488 e 1489, rispettivamente un trasmettitore ed un ricevitore, ambedue a quattro canali, sono molto usati in sistemi in cui è presente, oltre all'alimentazione logica di 5V o 3.3V, anche un'alimentazione duale a +/-12V. Questi integrati, come praticamente tutti i circuiti di questo tipo, contengono un inverter per ciascun canale e quindi, per esempio, se in ingresso è presente una tensione di -12V, cioè "uno" logico, in uscita saranno ovviamente presenti 5V, cioè "uno" logico.

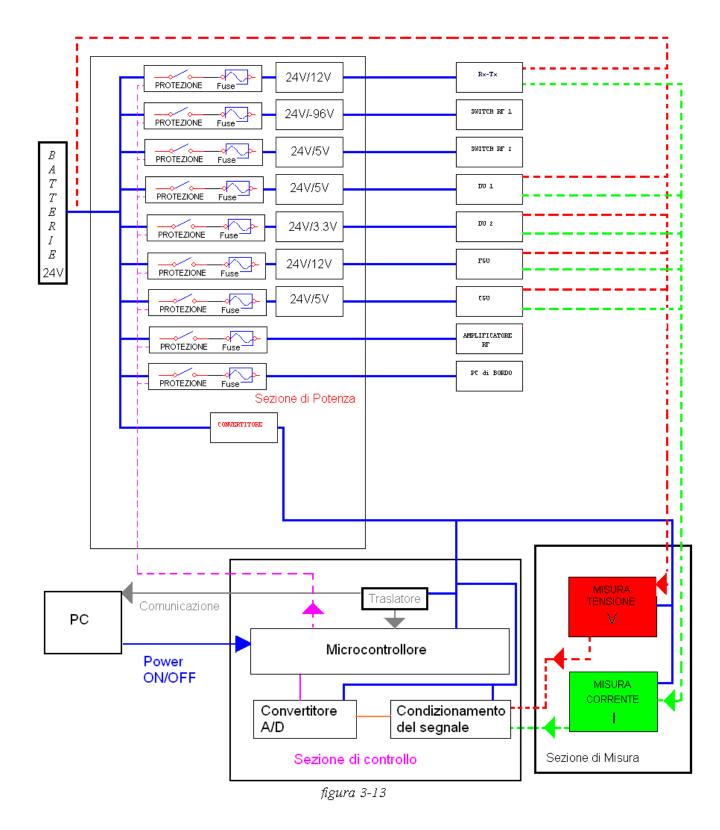
L'uso dei suddetti integrati è semplice, ma non sempre attuabile a causa della necessità di disporre di tre alimentazioni. Si pensi, per esempio, alle apparecchiature alimentate a batteria. Esistono circuiti integrati, realizzati un po' da tutti i produttori di semiconduttori, che permettono il collegamento tra logica TTL o CMOS a 5V e le tensioni RS232, partendo solo da un'alimentazione a 5V.

Per ottenere le tensioni positiva e negativa, necessarie per il funzionamento dell'integrato, è usata una configurazione a pompa di carica, costituita da circuiti interni all'integrato e quattro condensatori esterni. La capacità effettiva dipende dal

tipo di integrato e dalla relativa frequenza di commutazione. A volte, i condensatori sono presenti all'interno dell'integrato stesso. Anche in questo caso, la scelta specifica del componente è rimandata al capitolo successivo. Quindi, lo schema visto fino a questo momento per la sezione di controllo, si modifica, ancora una volta, come segue (fig. 3-12):



Lo schema a blocchi completo della PDU di SORA è (fig. 3-13):



3.2 Scelta dei componenti

Il paragrafo precedente, oltre a fornire una struttura logica al progetto, ha descritto le caratteristiche dei componenti delle tre sezioni che andranno a costituire la PDU. In questa sede, è demandata la scelta specifica dei componenti che risulta essere il passo primario per la effettiva realizzazione del progetto stesso. Anche in questo caso, il lavoro sarà diviso in tre sezioni, partendo da quella di potenza, passando per quella di misura e poi a quella di controllo. Le scelte verranno effettuate in base ai risultati delle analisi svolte nel paragrafo 3.1. Per quanto attiene alle caratteristiche dei componenti, e come da ricognizioni di mercato riportate nel capitolo 2, per l'individuazione effettiva dei prodotti.

Sezione di potenza

I primi componenti da individuare sono i DC/DC converter. Nella tabella 3-4 seguente si riassumono le caratteristiche dei convertitori utili al progetto:

| | TABELLA 3-4 | | |
|--------|----------------------------------|-------------------|--|
| Car | Caratteristiche dei convertitori | | |
| Numero | Conversione | Corrente nominale | |
| 2 | 24V/12V | 1 A | |
| 1 | 24V/3.3V | 1 A | |
| 1 | 24V/5V | 1 A | |
| 1 | 24V/5V | 4 A | |

Per ora, si tralascia la parte relativa allo Switch RF, che, come detto in precedenza, verrà realizzata su di un circuito stampato a sé stante. Inoltre, non è stato considerato il convertitore che servirà per alimentare i dispositivi della sezione di controllo e della sezione di misura, perché non si conoscono ancora le caratteristiche di quest'ultimi. E'

opportuno sottolineare che, pur potendo utilizzare un unico convertitore di potenza più elevata per due carichi con la stessa tensione nominale, si è scelto di avere due alimentazioni per poter gestire, in maniera separata, eventuali anomalie di un singolo carico. Il primo elemento della tabella 3-4 è un convertitore 24V/12V che richiede una corrente di 1 A, quindi un DC/DC converter di potenza pari a circa 12W. Sarà utilizzato un convertitore di potenza più elevata per operare in condizioni di sicurezza, in modo da non spingere la macchina a lavorare in condizioni limite. Ancora, un 24V/3.3V con 1 A di corrente, quindi 3.3W di potenza. Ancora, un 24V/5V e 1 A, potenza pari a 5W. Infine un convertitore 24V/5V con una corrente nominale di 4 A, 20W di potenza. Sfogliando il paragrafo 2.6, vengono preferiti prodotti della Traco Power, trovando buona corrispondenza tra le esigenze del progetto e varietà di prodotti, riuscendo a non allontanarsi troppo, in raffronto agli altri prodotti, da un costo medio. Il tutto supportato da una garanzia triennale dei prodotti stessi.

Nello specifico si sceglie:

1. II TEN 25-2412 per i due 24V/12V. E' un convertitore di 30 W del quale si riassumono le principali caratteristiche nella seguente tabella 3-5:

| TABELLA 3-5 | | | | |
|-------------|---------|-------------|---------------|------------|
| TEN 25-2412 | | | | |
| Input | Output | Output | Temperature | Efficiency |
| voltage | voltage | current max | range | typical |
| 18-36Vdc | 12Vdc | 2500 mA | -40°C to 85°C | 89% |

Il convertitore eroga una corrente che è più del doppio rispetto a quella che occorre, il che pone in ottime condizioni di sicurezza. Il rendimento è elevato, 89% e soprattutto il range di temperatura è molto ampio e, dato che SORA lavorerà a temperature prossime a

0°C, questo assicura un elevato margine dagli estremi del range di temperatura.

2. Il TEL 5-2410 soddisfa la seconda specifica in tabella. Esso è, infatti, un DC/DC converter di 5W e le sue caratteristiche sono (tab. 3-6):

| TABELLA 3-6 | | | | |
|-------------|---------|-------------|---------------|------------|
| TEL 5-2410 | | | | |
| Input | Output | Output | Temperature | Efficiency |
| voltage | voltage | current max | range | typical |
| 18-36Vdc | 3.3Vdc | 1200 mA | -25°C to 71°C | 79% |

Anche in questo caso, le specifiche sono soddisfatte con un buon margine.

3. Il TEN 12-2411 sarà utilizzato per la terza specifica in tabella. E' un DC/DC converter di 12W con le seguenti caratteristiche (tab. 3-7):

| TABELLA 3-7 | | | | |
|-------------|---------|-------------|---------------|------------|
| TEN 12-2411 | | | | |
| Input | Output | Output | Temperature | Efficiency |
| voltage | voltage | current max | range | typical |
| 9-36Vdc | 5Vdc | 2000 mA | -40°C to 85°C | 82% |

Ancora una volta le specifiche sono soddisfatte con ottimo margine.

4. L'ultimo è il TEN 25-2411 che ha i requisiti richiesti dall'ultimo rigo della tabella 5-1. E' un DC/DC converter di 25 W con le caratteristiche (tab. 3-8):

| TABELLA 3-8 | | | | |
|-------------|---------|-------------|---------------|------------|
| TEN 25-2411 | | | | |
| Input | Output | Output | Temperature | Efficiency |
| voltage | voltage | current max | range | typical |
| 18-36Vdc | 5Vdc | 5000 mA | -40°C to 85°C | 85% |

Come per i prodotti precedenti vengono soddisfatte le specifiche.

I componenti trovati fino a questo momento sono riassunti nella tabella 3-9 seguente:

| TABELLA 3-9 | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|--|
| Lista componenti sezione di potenza | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | |
| 2 | TEN 25-2412 | DC/DC converter | |
| 1 | TEL 5-2410 | DC/DC converter | |
| 1 | TEN 12-2411 | DC/DC converter | |
| 1 | TEN 25-2411 | DC/DC converter | |

I DC/DC converter sono stati scelti rispettando attentamente le caratteristiche elettriche che le specifiche richiedevano. Inoltre sono stati riportati dati inerenti le temperature operative dei convertitori, per avere una visione più generale dei dispositivi. Infatti, oltre ai parametri elettrici, sfogliando i datasheet, si possono trovare una serie di specifiche, tra le quali alcune riferite alla temperatura. In particolare, ci sono tre voci: temperatura operativa, temperatura del case e temperatura di storage

(essa indica il range di temperatura entro il quale il dispositivo deve essere conservato per evitare di comprometterne il funzionamento). Dai datasheet riportati nell'appendice A si ricava che (tab. 3-10):

| TABELLA 3-10 | | | |
|---------------------------|---------------------------|--|--|
| Storage temperature range | | | |
| Codice Articolo | Storage temperature range | | |
| TEN 25-2412 | -40°C to +125°C | | |
| TEL 5-2410 | -55°C to +125°C | | |
| TEN 12-2411 | -55°C to +125°C | | |
| TEN 25-2411 | -55°C to +125°C | | |

Facendo una ricerca sulla media delle temperature che la PDU potrà trovare durante il trasporto e quelle del luogo del lancio, si è visto che, per quanto riguarda le temperature di storage, ovvero di conservazione, si può stare tranquilli. Infatti, negli ultimi dieci anni, alle isole Svalbard, località prossima al circolo polare artico, dove verrà effettuato il lancio di SORA, si sono registrate temperature minime non al di sotto dei –19°C, valore che è comunque lontano dai limiti imposti dal costruttore. Stesso discorso per il trasporto, cioè non sarà mai superato il limite inferiore del dispositivo durante il tragitto di SORA.

La trattazione continua nell'individuazione dei componenti per la sezione di potenza legata agli organi di protezione. La scelta, in questo caso, ricade su dei relè a stato solido, perché, rispetto a quelli elettromeccanici, assicurano maggiore affidabilità. Infatti, i relè a stato solido utilizzano dispositivi elettronici, invece che meccanici, per la commutazione del carico, consentendo, mediamente, una vita prevista di circa centomila ore in eccitazione. Ciò, riduce le sostituzioni del prodotto, inoltre, non essendoci parti in movimento, contatti soggetti ad usura o che possono essere danneggiati da vibrazioni, non richiedono di nessuna manutenzione. Altro fattore fondamentale a vantaggio dei relè allo stato solido è che richiedono generalmente 25

volte meno energia elettrica dei relè elettromeccanici e generano, inoltre, meno calore. Naturalmente, si sceglierà un prodotto per circuito stampato. I parametri da considerare sono: corrente nominale, tempo di spegnimento, tensione di carico e tensione di controllo. Il parametro comune a tutti gli organi è la tensione di carico di 24V ±2V. Per quello che concerne le correnti nominali esse sono praticamente quelle dei carichi e sono riassunte nella tabella 3-11:

| TABELLA 3-11 | | | |
|--|-------------------|-------------------|--|
| Tensioni e Correnti nominali dei carichi | | | |
| CARICO | TENSIONE NOMINALE | CORRENTE NOMINALE | |
| PC di bordo | 24 V ±4V | 3 A | |
| Amplificatore RF | 24 V ±4V | 12 A | |
| CGU | 5 V ±0.5V | 1 A | |
| FGU | 12 V ±0.5V | 1 A | |
| DU1 | 5 V ±0.5V | 4 A | |
| DU2 | 3.3 V ±0.5V | 1 A | |
| Switch RF 1 | -96 V ± 2V | 5 mA | |
| Switch RF 2 | 5 V ± 0.5V | 100 mA | |
| Rx-Tx | 12 V ±0.5V | 1 A | |

La tensione di controllo è contenuta all'interno del range dei valori che interessano i segnali digitali. La scelta ricade sui relè della Crydom e nello specifico i modelli CMX60D10 per i carichi PC di bordo, amplificatore RF e digital unit 1 e 2. Per i restanti carichi il modello prescelto è MPDCD3.

Nella tabella 3-12 si riportano le principali caratteristiche dei due dispositivi:

| TABELLA 3-12 | | | | |
|---------------------|--------------|---------------|---------------|----------------------|
| Relè a stato solido | | | | |
| C- 1: | Must turn on | Must turn off | Input current | Operating |
| Codice | Voltage | Voltage | 5 Vdc | temperature range |
| CMX60D10 | 3 Vdc | 1 Vdc | 15 mA | -30°C to 80°C |
| MPDCD3 | 3 Vdc | 1 Vdc | 2.6 mA | -40°C to 80°C |

Il range di temperatura di storage è compatibile con le condizioni climatiche che i dispositivi dovranno affrontare. Infatti, analizzando i datasheet dei relè inseriti nell'appendice A, si vede che non sussistono problemi di questo tipo.

La lista dei componenti diventa (tab. 3-13):

| TABELLA 3-13 | | | | |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|--|--|
| Lista | Lista componenti sezione di potenza | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | | |
| 2 | TEN 25-2412 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEL 5-2410 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEN 12-2411 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEN 25-2411 | DC/DC converter | | |
| 3 | CMX60D10 | Relè | | |
| 4 | MPDCD3 | Relè | | |

Resta da definire la scelta dei fusibili, che, come precisato nel paragrafo precedente, saranno del tipo "resettable". Si scelgano i prodotti della Bourns. Il parametro fondamentale che interessa è la corrente nominale che, una volta stabilita, permette di

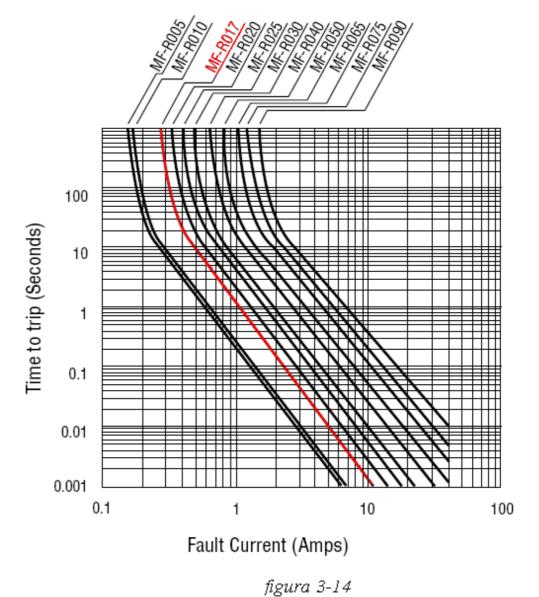
scegliere il componente opportuno e di poter valutare i tempi di intervento dei fusibili stessi. Per come sono stati raggruppati i carichi, cioè per come sono stati collegati i fusibili al resto del circuito risulta:

- 1. Per Rx-Tx la corrente nominale è 1 A.
- 2. Per switch RF 1, accorpato con switch RF 2, 105 mA, data dalla somma delle due correnti nominali.
- 3. Digital unit 1 e digital unit 2, corrente pari a 5 A.
- 4. FGU, 1 A.
- 5. CGU, 1 A.
- 6. Amplificatore RF, 12 A.
- 7. PC di bordo, 3 A.

Analizzando i datasheet dei componenti, riportati come sempre nell'appendice A si ha (tab. 3-14):

| | TABELLA 3-14 | | | | |
|--------|--------------------------|-----------------|----------------------------|--|--|
| | | Fusibili | | | |
| Carico | Corrente nominale carico | Codice fusibile | Corrente nominale fusibile | | |
| Rx-Tx | 1 A | MF-R110 | 1.10 A | | |
| Switch | 105 mA | MF-R017 | 0.17 A | | |
| RF | | | | | |
| DU | 5 A | MF-R500 | 5 A | | |
| FGU | 1 A | MF-R110 | 1.10 A | | |
| CGU | 1 A | MF-R110 | 1.10 A | | |
| Amp. | 12 A | MF-R1100 | 11 A | | |
| RF | | | | | |
| PC di | 3 A | MF-R300 | 3 A | | |
| Bordo | <i>31</i> 1 | 1,11 11300 | 371 | | |

Nei prossimi grafici si riportano i tempi di intervento in funzione della corrente dei vari componenti.



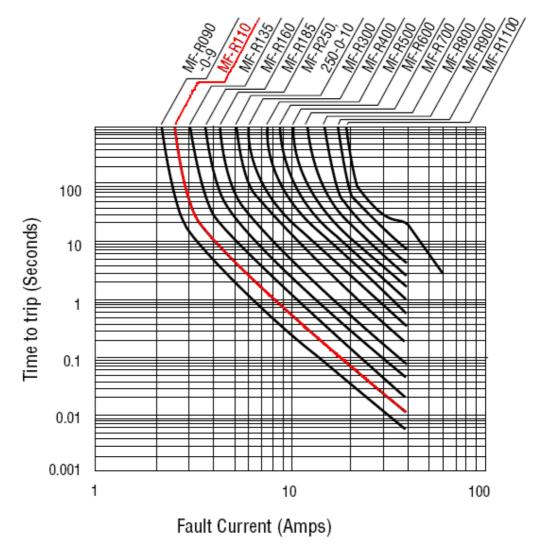
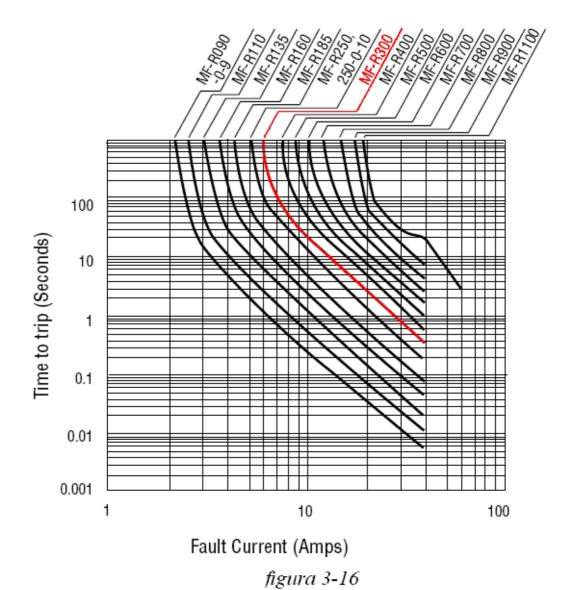
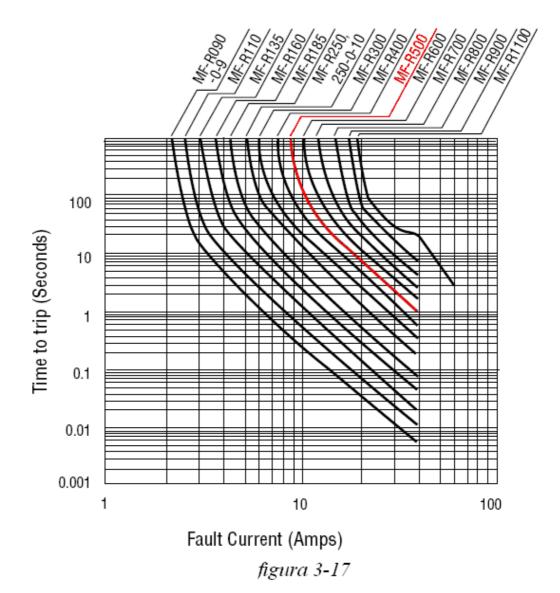
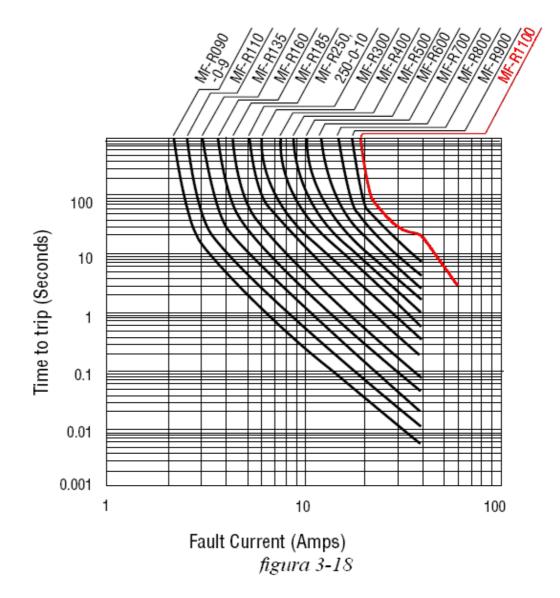


figura 3-15







Si nota che, in genere, per valori di corrente prossimi a tre volte la corrente nominale, si hanno dei tempi di intervento di 100 secondi che decadono drasticamente per piccoli incrementi di corrente. Il range di temperatura operativa è, per tutti i dispositivi, –40°C a +85°C, che coincide anche con la temperatura di storage. Quindi, neanche in questo caso, ci sono problemi.

Si riporta, in conclusione, la lista dei componenti della sezione di potenza fino ad ora analizzata (tab.3-15).

| TABELLA 3-15 | | | | |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|--|--|
| Lista | Lista componenti sezione di potenza | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | | |
| 2 | TEN 25-2412 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEL 5-2410 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEN 12-2411 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEN 25-2411 | DC/DC converter | | |
| 3 | CMX60D10 | Relè | | |
| 4 | MPDCD3 | Relè | | |
| 1 | MF-R017 | Fusibile | | |
| 3 | MF-R110 | Fusibile | | |
| 1 | MF-R300 | Fusibile | | |
| 1 | MF-R500 | Fusibile | | |
| 1 | MF-R1100 | Fusibile | | |

Sezione di misura

Come per la sezione di potenza, ci si rifà alla trattazione del paragrafo 3.1, iniziando a scegliere i sensori di corrente. Il componente designato è LTS 15-NP, sensore ad effetto Hall, prodotto dalla LEM components. Esso offre la possibilità, con un solo dispositivo, di poter misurare un ampio range di correnti. Infatti, con opportuni collegamenti, si può variare il fondo scala del sensore di misura, in modo da ottenere la massima risoluzione possibile. Nella tabella 3-16 si riportano le principali caratteristiche del componente, tratte dal datasheet inserito nell'Appendice A:

| TABELLA 3-16 LTS 15-NP | | | | |
|--|-------------|--|--|--|
| Electrical data | | | | |
| Supply Voltage 5 V ±5% | | | | |
| I _{PN} primary nominal r.m.s. current | 15A 7.5A 5A | | | |
| Current consumption | | | | |
| Accurancy – Dynamic performance data | | | | |
| $\epsilon_{\rm L}$ linearity error < 0.1% | | | | |
| t _{ra} reaction time @ 10% of I _{PN} | < 100 ns | | | |
| t _r response time @ 90% of I _{PN} | < 400 ns | | | |
| General data | | | | |
| T_A ambient operating temperature -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ | | | | |
| T_S ambient storage temperature -40° C to $+100^{\circ}$ C | | | | |

Le correnti che interessa monitorare sono riassunte nella tabella 3-17 che segue:

| TABELLA 3-17 Correnti monitorate | | | |
|-------------------------------------|------|--|--|
| CARICO CORRENTE NOMINALE | | | |
| PC di bordo 3 A | | | |
| Amplificatore RF | 12 A | | |
| CGU | 1 A | | |
| FGU | 1 A | | |
| DU1 | 4 A | | |
| DU2 | 1 A | | |
| Rx-Tx | 1 A | | |

Dalla tabella 3-16, che riassume le caratteristiche tecniche del sensore di corrente scelto, si nota che esso può assumere tre valori di fondo scala diversi 5 A, 7.5 A e 15 A, che saranno selezionati collegando, in configurazioni opportune, i pin del dispositivo. Analizzando la tabella 3-17, si deduce che i sensori saranno tutti impostati per avere un valore della corrente nominale pari a 5 A escluso il trasduttore per la misura della corrente nel carico Amplificatore RF. Si passa, ora, ad analizzare le caratteristiche termiche. Per quello che concerne la temperatura di storage non sussistono problemi, in quanto l'intervallo [-40°C, +100°C] offre ampie garanzie. Lo stesso si può dire per la temperatura operativa che risulta essere pari a [-40°C, +85°C]. Iniziando a comporre la lista dei componenti della sezione di misura (tab. 3-18) si ha:

| TABELLA 3-18 | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Lista componenti sezione di misura | | | |
| Numero Codice Articolo Tipologia | | | |
| 7 | 7 LTS 15-NP Trasduttore di corrente | | |

Si passa, ora, alla scelta dei dispositivi che permetteranno di effettuare le misure di tensione. Nel paragrafo precedente, il circuito per la misura della tensione è stato realizzato da un partitore, un buffer ed un filtro RC. Per il filtro sono stati già ricavati i valori di R e C. Il buffer è costituito da un amplificatore operazionale montato in configurazione non invertente.

Le tensioni da misurare sono (fig. 3-19):

| TABELLA 3-19 Tensioni monitorate | | | |
|-------------------------------------|-------------|--|--|
| CARICO TENSIONE NOMINALE | | | |
| PC di bordo | 24 V ±4V | | |
| Amplificatore RF | 24 V ±4V | | |
| CGU | 5 V ±0.5V | | |
| FGU | 12 V ±0.5V | | |
| DU1 | 5 V ±0.5V | | |
| DU2 | 3.3 V ±0.5V | | |
| Rx-Tx 12 V ±0.5V | | | |

Si valutano le resistenze dei partitori. Bisogna fare in modo che la tensione misurata sia al massimo pari a 5 V, che è il massimo valore di tensione ammissibile del convertitore analogico digitale. Sarà bene riportare al convertitore sempre un valore di tensione il più possibile vicino al valore di fondo scala, in modo da ottenere un'ottima risoluzione. Per il partitore che misura la tensione di ingresso, che poi è la stessa del PC di bordo e dell'amplificatore RF, si imponga un valore di fondo scala proporzionale a 25V. Questa scelta deriva dalla necessità di adeguarsi a valori di resistenza standard, in modo da non dover scegliere dei valori poco usuali per le resistenze che, pur trovandosi in commercio, avrebbero un costo elevato, non giustificato dalla precisione voluta e dal budget prestabilito. Pertanto, si consideri il seguente schema (fig. 3-19):

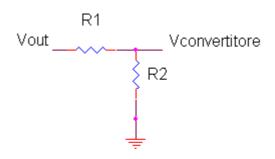


figura 3-19

data la V_{out} massima pari a 25V e la $V_{convertitore}$ pari a 5V, si ha:

$$V_{convertitore} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out} \Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{V_{out}}{V_{convertitore}} \Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 5$$

Ottenuta la prima relazione, essendo due le incognite da determinare, bisogna scrivere una seconda condizione. Si imponga che la corrente dissipata nel partitore sia I=1mA. Dalla legge di Ohm si ha che:

$$R_{TOT} = R_1 + R_2 = \frac{V}{I} \Longrightarrow R_1 + R_2 = 25k\Omega$$

Risolvendo il sistema seguente si hanno i valori delle resistenze R_1 e R_2 .

$$\begin{cases} \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 5 \\ R_1 + R_2 = 25k\Omega \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = 20k\Omega \\ R_2 = 5k\Omega \end{cases}$$

Si necessita di:

| TABELLA 3-20 Resistenze | | |
|----------------------------|-----------------|------------|
| Numero | Codice Articolo | Tipologia |
| 1 | 20kΩ | Resistenza |
| 1 | 5kΩ | Resistenza |

Per i rimanenti partitori saranno utilizzate le medesime relazioni viste in precedenza, dimensionando il partitore in funzione del valore massimo che è di 12V. E' scelta, quindi, una tensione di fondo scala proporzionale a 15V.

$$V_{convertitore} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out} \Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{V_{out}}{V_{convertitore}} \Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 3$$

Imponendo che la corrente nel partitore sia I=1mA si ha:

$$R_{TOT} = R_1 + R_2 = \frac{V}{I} \Longrightarrow R_1 + R_2 = 15k\Omega$$

Risolvendo il sistema si ha:

$$\begin{cases} \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 3 \\ R_1 + R_2 = 15k\Omega \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = 10k\Omega \\ R_2 = 5k\Omega \end{cases}$$

Quindi serviranno cinque resistenze da $10k\Omega$ e cinque da $5k\Omega$. La lista di tabella 3-20 si completa (tab. 3-21):

| TABELLA 3-21 | | | | |
|--------------|-----------------|------------|--|--|
| Resistenze | | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | | |
| 1 | 20kΩ | Resistenza | | |
| 6 | 5kΩ | Resistenza | | |
| 5 | 10kΩ | Resistenza | | |

La potenza sarà 20mW per quello da $20k\Omega$, 10mW per quelli da $10k\Omega$ e 5mW per quelli da $5k\Omega$. Le caratteristiche delle resistenze sono a questo punto definite. Dato che la misura della tensione, risulta essere proporzionale al valore della resistenza utilizzata, volendo una precisione tale da non portare l'errore al di sopra dello 0.5%, si utilizzeranno dei resistori di precisione che assicurano un errore dello 0.1%. La scelta ricade sui resistori della Tyco Electronics di cui si riportano le caratteristiche principali nella tabella 3-22 seguente:

| | TABELLA 3-22 Caratteristiche resistori di precisione | | | |
|--------|---|------|----------------|--|
| Valore | Valore Potenza Precisione Temperatura di esercizio | | | |
| 5kΩ | 0.25W | 0.1% | -55°C , +155°C | |
| 20kΩ | 0.5W | 0.1% | -55°C , +155°C | |
| 10kΩ | 0.25W | 0.1% | -55°C , +155°C | |

Si è scelto per il resistore da $20k\Omega$ una potenza di 0.5W, per quelli da $10k\Omega$ e $5k\Omega$ una potenza di 0.25W. Per quello che concerne le temperature di esercizio, esse rientrano nel range definito dalle specifiche. Stabiliti i componenti del partitore, la scelta si sposta a quelli del buffer. Si deve, semplicemente, scegliere l'amplificatore operazionale. Abbiamo bisogno di sei amplificatori operazionali. Il componente individuato è LM224 della Philips. Esso è un circuito integrato che include quattro operazionali al suo interno. Si opta, inoltre, per un package di tipo "DIP". Le principali caratteristiche dell'LM224 sono riportate nella seguente tabella 3-23:

| TABELLA 3-23 LM224 | | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------------|--|--|
| Supply Voltage | Single supply | $3V_{DC}$ to $30V_{DC}$ | | |
| Supply Voltage | Dual supply | $\pm 1.5 V_{DC}$ to $\pm 15 V_{DC}$ | | |
| Input Voltage | -(| 0.3 to +32V _{DC} | | |
| Differential input voltage | $32V_{DC}$ | | | |
| Operating temperature range | -25°C to +85°C | | | |
| Storage temperature | -65°C to +150°C | | | |

Le tensioni di ingresso, quella differenziale e le temperature di esercizio e di storage, soddisfano le esigenze di progetto. Si avrà bisogno di due LM224, perché ne servono sei, quindi, essendocene quattro in ogni LM224, due rimarranno inutilizzati, anche se potranno servire per possibili sviluppi futuri. A completamento della scelta dei componenti della sezione di misura, non resta che scegliere i resistori ed i condensatori che andranno a comporre il filtro RC, i cui valori sono stati già ricavati nel paragrafo 3.1. Per quello che concerne i resistori, in questo caso non si necessita di precisione elevata e, quindi, la scelta può essere orientata su dei comuni resistori con tolleranza prossima al 5%. I condensatori saranno ceramici.

La lista dei componenti della sezione di misura è dunque (tab. 3-24):

| TABELLA 3-24 | | | |
|------------------------------------|-----------------|----------------------------|--|
| Lista componenti sezione di misura | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | |
| 7 | LTS 15-NP | Trasduttore di corrente | |
| 1 | 20kΩ | Resistenza di precisione | |
| 6 | 5kΩ | Resistenza di precisione | |
| 5 | 10kΩ | Resistenza di precisione | |
| 2 | LM224 | Amplificatore operazionale | |
| 6 | 20kΩ | Resistenza | |
| 6 | 100nF | Condensatore | |

La lista totale dei componenti fino a questo momento individuati è (tab. 3-25):

| TABELLA 3-25 | | |
|-------------------------|-----------------|----------------------------|
| Lista componenti totale | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia |
| 2 | TEN 25-2412 | DC/DC converter |
| 1 | TEL 5-2410 | DC/DC converter |
| 1 | TEN 12-2411 | DC/DC converter |
| 1 | TEN 25-2411 | DC/DC converter |
| 3 | CMX60D10 | Relè |
| 4 | MPDCD3 | Relè |
| 1 | MF-R017 | Fusibile |
| 3 | MF-R110 | Fusibile |
| 1 | MF-R300 | Fusibile |
| 1 | MF-R500 | Fusibile |
| 1 | MF-R1100 | Fusibile |
| 7 | LTS 15-NP | Trasduttore di corrente |
| 1 | 20kΩ | Resistenza di precisione |
| 6 | 5kΩ | Resistenza di precisione |
| 5 | 10kΩ | Resistenza di precisione |
| 2 | LM224 | Amplificatore operazionale |
| 6 | 20kΩ | Resistenza |
| 6 | 100nF | Condensatore |

Sezione di controllo

Il primo componente da scegliere è il microcontrollore. Nel paragrafo precedente, sono state elencate le caratteristiche che il "cuore" del sistema deve avere. Inoltre, dal capitolo 2, è chiara la convenienza di utilizzare prodotti della Microchip Technology, che mette a disposizione un'ampia gamma di componenti e accessori a corredo. Il microcontrollore designato è il PIC16F877A. Le caratteristiche principali del microcontrollore, tratte dal datasheet del dispositivo, riportato nell'Appendice A, sono (tab. 3-26):

| TABELLA 3-26 PIC16F877A | | |
|---|-----------------|--|
| Tensione di ingresso tra V _{DD} e V _{SS} | -0.3 V a +7.5 V | |
| Temperatura di storage | -65°C, +150°C | |
| Temperatura di esercizio | -55°C, +125°C | |
| Potenza dissipata | 1 W | |
| Porte di I/O | 33 | |
| 10-bit A/D (Ch) | 8 | |
| Velocità operativa | 20 MHz | |
| Master I ² C | SI | |
| SPI | SI | |

Il numero di porte I/O è sufficiente a gestire tutti i controlli della PDU, lasciando anche spazio ad eventuali future necessità. Il controllore è provvisto di registri dedicati e comandi per gestire una comunicazione MSSP (Master Synchronous Serial Port) I²C (Inter Integrated Circuit) e SPI (Serial Periferal Interface), questo permetterà di gestire in maniera facile la comunicazione RS232 inserendo semplicemente un traslatore di

livello. Ci sono a disposizione anche otto porte adibite alla conversione analogico digitale, però, dato che il numero di ingressi da convertire è superiore a otto, per questo tipo di operazione, si utilizzerà un componente dedicato, che sarà poi collegato al microcontrollore. La Microchip mette a disposizione diversi tipi di package, quello scelto per il progetto è "Dip", raffigurato di seguito (fig. 3-20).

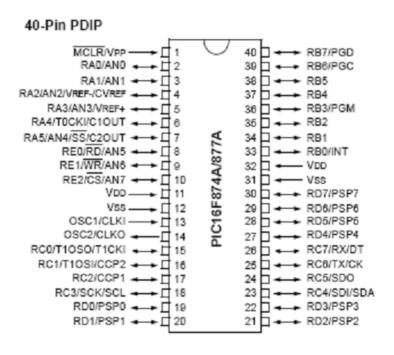


figura 3-20

Individuato il microcontrollore, si possono definire i componenti necessari a realizzare la rete circuitale che permetterà il corretto funzionamento del dispositivo. Infatti, oltre a collegare agli appositi pin l'esatta tensione di alimentazione, bisogna inserire un circuito oscillatore, un circuito di reset ed un circuito che permetta di programmare il dispositivo on-board. Cioè attraverso la RS232. Si inizia a valutare che tipo di oscillatore utilizzare. In commercio esistono diversi tipi di oscillatori. Alcuni, detti a "rilassamento", si basano sul principio di carica e scarica ciclica di un condensatore. Quando ai capi del condensatore si applica una tensione diversa da quella di riferimento, il condensatore comincia a caricarsi, quando si rimuove la suddetta

tensione, esso comincerà a scaricarsi. Applicando alternativamente la tensione ai capi del condensatore, quest'ultimo produrrà un segnale sinusoidale. Questo tipo di oscillatore è però poco utilizzato, al contrario dell'oscillatore basato sull'utilizzo di amplificatori operazionali. Infatti, la maggior parte degli oscillatori, impostano il loro principio di funzionamento sulla presenza di un amplificatore di tensione con una reazione positiva. Questo significa che il circuito è progettato in modo tale che parte del segnale di uscita venga riportato in ingresso all'amplificatore, però in fase, in modo tale che, il segnale, anche se piccolo, venga amplificato e lo si ritrovi in uscita con ampiezza maggiore. Si dice che l'amplificatore oscilla, cioè genera una oscillazione. Il circuito è il seguente (fig. 3-21):

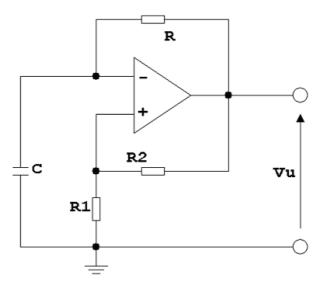


figura 3-21

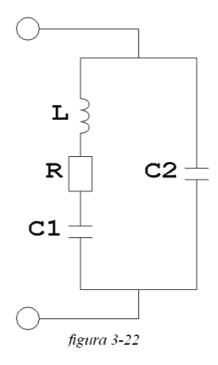
Si passa, ora, a descrivere il funzionamento degli oscillatori al quarzo. Certi cristalli producono cariche di segno opposto quando si esercita uno sforzo tra due superfici; viceversa, si deformano quando si applica ad essi una tensione mediante due elettrodi. Questo fenomeno è chiamato effetto piezoelettrico. In altri termini, tali cristalli subiscono deformazioni meccaniche se sottoposti ad un campo elettrico e, viceversa, generano un campo elettrico se sottoposti a deformazioni meccaniche. Questi cristalli

vengono appunto chiamati piezoelettrici (piezoelectric crystals). Il più comune tra questi è il quarzo, ma anche altri elementi naturali, come la formalina e il sale di Rochelle, o artificiali, come alcune ceramiche, godono di tali proprietà. Essi vengono comunemente impiegati come trasduttori da un segnale meccanico ad uno elettrico e viceversa, oppure anche come sensori di grandezze meccaniche. Affinchè di un cristallo piezoelettrico si possano sfruttare le caratteristiche, quest'ultimo deve essere tagliato in lamine parallele a determinati assi cristallografici e inserito fra due elettrodi. Il tutto costituisce un sistema elettromeccanico che vibra se opportunamente eccitato. La frequenza di risonanza f è legata allo spessore d dalla relazione:

$$f = \frac{1666}{d}$$

dove f è espressa in MHz e d in mm.

Per ottenere un oscillatore al quarzo realmente funzionante, occorre inserire il cristallo in un circuito retroazionato positivamente, in modo da farlo risonare nella sua zona induttiva. Poiché il fattore di qualità Q del quarzo, cioè il rapporto fra la sua parte reattiva e quella resistiva è dell'ordine di 10⁶, la frequenza di oscillazione del circuito coinciderà con quella di risonanza del quarzo stesso, in modo quasi indipendente dalle altre reattanze presenti nel circuito. Gli oscillatori a cristallo vengono molto utilizzati in ambiti di elevata precisione, in quanto le loro caratteristiche sono estremamente stabili sia rispetto al tempo che alla temperatura. Un oscillatore al quarzo può essere ricondotto ad un circuito equivalente, di cui quello riportato in figura 3-22 ne è uno schema:



In questo circuito L, R, C1 dipendono dalle caratteristiche meccaniche del cristallo, mentre C2 rappresenta la capacità fra gli elettrodi applicati al cristallo e risulta di valore molto più elevato di C1. Il circuito presenta due frequenze di risonanza, una serie e una parallelo.

La risonanza serie è espressa con:

$$\omega s = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

mentre quella parallelo con:

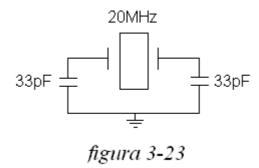
$$\omega p = \sqrt{\frac{1}{L} \cdot \left(\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot \frac{C2}{C1 + C2} \cdot C1}}$$

da queste due relazioni si può notare che ws << wp.

In verità, la risonanza del quarzo che si andrà realmente a sfruttare, sarà una risonanza compresa tra quella serie e quella parallelo:

$$\omega s < \omega < \omega p$$

Sarà utilizzato un oscillatore al quarzo, completando il circuito con due condensatori da 33pF collegati come in figura 3-23.



I due condensatori sono dei condensatori di disaccoppiamento che evitano al circuito di non oscillare oppure di generare una infinità di frequenze spurie. Per alimentare il PIC16F877A è collegata una resistenza di $5k\Omega$ in serie all'alimentazione per limitare la corrente, oltre a permettere di resettare il sistema senza cortocircuitare l'uscita del convertitore che fornisce la tensione di alimentazione ed un diodo di protezione per evitare di polarizzare inversamente il microcontrollore (fig. 3-24).

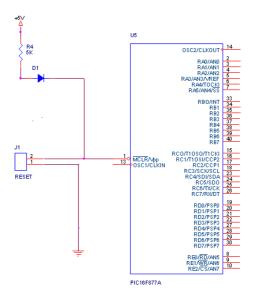


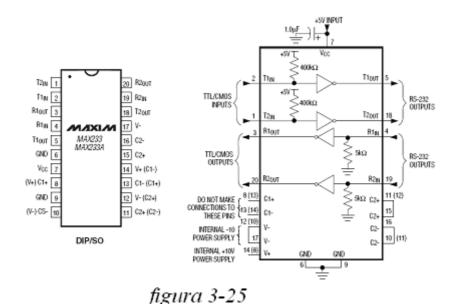
figura 3-24

Per assolvere al comando di reset si inseriscono due connettori, collegati uno a massa e uno al pin di alimentazione, in modo da poter cortocircuitare i due contatti e quindi resettare il sistema.

E' possibile, mediante un apposito file detto "Bootloader", scrivere nella ROM del PIC il firmware senza l'utilizzo del programmatore. A dire il vero, il programmatore è utilizzato solo la prima volta per caricare il "Bootloader", dopodiché il PIC è pronto per mettersi in ascolto su un ingresso prescelto. Nel caso in cui non ci sia attività sulla porta designata viene avviato il programma residente in memoria. Per effettuare questa operazione, si inserisce un jumper che permetta di collegare a massa l'ingresso dedicato alla programmazione, che è il segnale di avvio della programmazione onboard.

Il comando di ON/OFF è dato tramite un segnale TTL, che ha per il riconoscimento del livello logico alto una V_{OH} compresa tra 2.4V e 4V e per il riconoscimento del livello logico basso una V_{OL} compresa tra 0V e 0.4V. E' opportuno inserire un trigger di Schmitt in serie al segnale TTL per riportare i livelli TTL a quelli del microcontrollore. Il componente utilizzato sarà il 74HC14 della Philips.

Per la comunicazione RS232 c'è la necessità di traslare i livelli di tensione logica del microcontrollore per adattarli a quelli del protocollo RS232. Il componente designato è il MAX233 della Maxim. La Maxim mette a disposizione una serie di prodotti che realizzano, sostanzialmente, le stesse funzioni. La convenienza di utilizzare il MAX233 sta nel fatto che l'integrato comprende già al suo interno i condensatori che completano il circuito per il corretto funzionamento del dispositivo. Quindi, oltre a risparmiare spazio sul circuito stampato, si evitano problemi dovuti alle condizioni ambientali che la PDU incontrerà quando dovrà operare. Nella figura 3-25 si riporta lo schema del dispositivo.



Le principali caratteristiche del MAX233 sono riassunte nella tabella 3-27 seguente:

| TABELLA 3-27 MAX 233 | | |
|-----------------------------|-----------------|--|
| Operating supply voltage | -0.3V to 6V | |
| Vcc Supply current | 15mA | |
| Storage temperature range | -65°C to +160°C | |
| Operating temperature range | -40°C to +85°C | |

I parametri di temperatura, sia operativa che di storage, rispettano ampiamente le condizioni ambientali che dovrà affrontare il dispositivo. I pin di uscita e di ingresso del MAX 233 per la comunicazione verranno collegati al microcontrollore e ad un connettore maschio a dieci pin che verrà saldato sul circuito stampato. Tra i vari compiti che il microcontrollore deve espletare, di fondamentale importanza, come esposto nel capitolo 1, c'è il pilotaggio dei relè a stato solido, scelti come organi di interruzione dell'alimentazione.

I parametri di controllo dei relè CMX60D10 sono (tab. 3-28):

| TABELLA 3-28 CMX60D10 | | |
|------------------------------|--------------|--|
| Control Voltage Range | 3.0-10.0 Vdc | |
| Typical Input Current @ 5Vdc | 15 mAdc | |
| Must turn on voltage | 3.0 Vdc | |
| Must turn off voltage | 1.0 Vdc | |

Per i relè MPDCD3 sono (tab. 3-29):

| TABELLA 3-29 MPDCD3 | | |
|------------------------------|------------|--|
| Control Voltage Range | 3.0-32 Vdc | |
| Typical Input Current @ 5Vdc | 2.6 mAdc | |
| Must turn on voltage | 3.0 Vdc | |
| Must turn off voltage | 1.0 Vdc | |

Quindi, i parametri di controllo delle due tipologie di relè rientrano nei valori gestibili dal microcontrollore, l'unico accorgimento da considerare è l'interposizione di un buffer per il pilotaggio. Il buffer scelto è il 74HCT541 della Philips, di cui si riporta nella figura 3-26 la struttura logica e nella tabella 3-30 le principali caratteristiche.

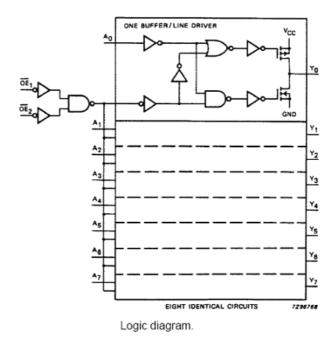


figura 3-26

| TABELLA 3-30 HCT541 | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|-----|------|------|------|
| Symbol | Parameter | min | Typ. | Max | Unit |
| Vcc | Dc supply voltage | 2.0 | 5.0 | 6.0 | V |
| Vi | DC input voltage range | 0 | | Vcc | V |
| Vo | DC voltage range | 0 | | Vcc | V |
| Tamb | Operating ambient temperature range | -40 | | +85 | °C |
| Tstg | Storage temperature range | -65 | | +150 | °C |
| Io | DC output current | 0 | | 35 | mA |

Tutti i valori rientrano nelle specifiche da rispettare.

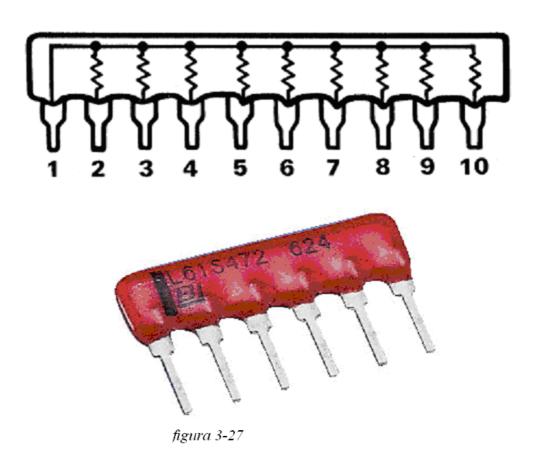
Oltre al buffer, che svolge una funzione di separatore, è inserita una rete di resistenze di pull-up, per controllare lo spegnimento del relè a stato solido e per evitare di sovraccaricare il microcontrollore. Infatti, analizzando le caratteristiche elettriche del PIC16F877A si vede che:

- La massima corrente erogata da ciascun I/O pin è 25 mA.
- Potenza totale dissipata è 1 W.
- La massima corrente erogata dalla porte è 200 mA.

Anche se le correnti di controllo dei singoli relè a stato solido sono inferiori al valore massimo di corrente erogato dai singoli pin di I/O, le varie operazioni di controllo del PIC 16F877A e la simultanea attivazione dei relè potrebbe generare un sovraccarico del microcontrollore con probabile distruzione dello stesso. Quindi, essendo otto i buffer messi a disposizione dal 74HCT541, si inseriranno otto resistenze di pull-up del valore di $20k\Omega$, valore ricavato per limitare la corrente di controllo a 25 mA.

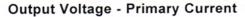
$$\frac{V}{I} = R \Rightarrow R = \frac{5}{25} = 20k\Omega$$

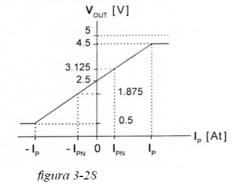
Per la scelta dei resistori, al fine di risparmiare spazio, conviene utilizzare, al posto di otto resistori di $20k\Omega$, una rete di resistenze. Questo componente è l'equivalente di otto resistori collegati in parallelo, con il vantaggio di occupare uno spazio minimo, il che garantirà anche un minor numero di piste da realizzare sul circuito stampato. Di seguito si riporta lo schema della rete ed una foto della stessa (fig. 3-27).



Ora, si passa a valutare il convertitore analogico digitale. Le grandezze da convertire sono tredici, sette valori rappresentanti le correnti e sei rappresentanti le tensioni. I valori di tensione, che il convertitore dovrà elaborare, saranno dati dalle uscite dei partitori, per le misure delle tensioni e dalle uscite dei trasduttori, per quelle di

corrente. I partitori restituiranno dei valori di tensione contenuti in un range di valori compresi tra 0 e 5 V, i trasduttori di corrente forniranno dei valori di tensione variabili sia in segno (in funzione del verso della corrente che circola nel sensore) che in modulo. Per quanto concerne il segno della tensione V_{out}, risultato della misurazione, si può, come sottolineato nel datasheet del componente, riportato nell'appendice A, limitarlo ai soli valori positivi, collegando in maniera appropriata il dispositivo, facendo in modo che la corrente entri dai terminali 1,2,3 ed esca da 4,5,6. Naturalmente, l'etichette esatte dei terminali di ingresso e di uscita, saranno date dallo specifico valore di corrente nominale scelto per ciascun trasduttore. Il modulo varierà, avendo impostato un unico verso per la corrente, tra 0.5 V e 4.5 V, come visualizzato nella figura 3-28 seguente:





Anche per il trasduttore di corrente si hanno dei valori di tensione che rientrano nel range 0-5 V. Il dispositivo scelto è un convertitore della Microchip Technology, stessa azienda produttrice del microcontrollore selezionato, che mette a disposizione diverse alternative. Interessa principalmente che il convertitore abbia: un'interfaccia, in modo da permettere al PIC16F877A di acquisire il segnale convertito; un numero di ingressi sufficiente a soddisfare le esigenze di progetto; il range di temperatura che rientri nelle specifiche. Il massimo numero di canali a disposizione è otto, quindi si utilizzeranno due convertitori ad otto canali, pur non necessitando di sedici ingressi.

Il convertitore designato è l'MCP3208, le caratteristiche principali sono (tab. 3-31):

| TABELLA 3-31 MCP3208 | | |
|-------------------------|--------------------|--|
| Risolution | 12 bit | |
| Number of input channel | 8 | |
| Interface | SPI | |
| Input Voltage Range | -0.6 V to Vdd+0.6V | |
| Voltage supply | 7.0V max | |
| Max current supply | 400μΑ | |
| Operating temperature | -40°C to 85°C | |
| Storage temperature | -65°C to 150°C | |

I valori di tensione dei segnali di ingresso rientrano nel range di tensione del convertitore e non ci sono problemi di temperatura.

Lo schema a blocchi funzionale del convertitore è (fig.3-29):

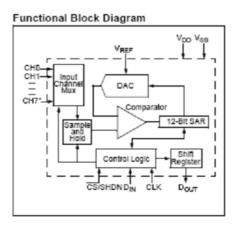
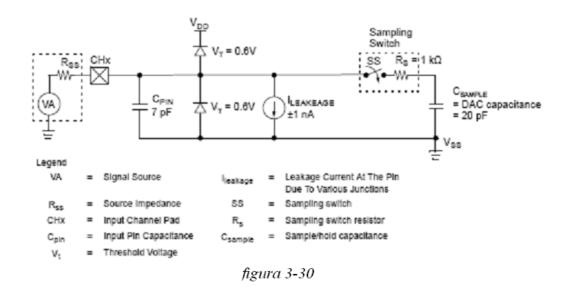


figura 3**-**29

Di seguito, è riassunto il funzionamento dell'MCP3208. I segnali di ingresso vengono campionati uno alla volta mediante un circuito "Sample and Hold" di questo tipo (fig. 3-30):



Il dato viene conservato in un registro a 12 bit. Ad ogni clock viene restituito il risultato della conversione mediante un registro a scorrimento ed inviato, in maniera seriale, al microcontrollore. L'ingresso D_{in} , data input, configura il canale scelto per la conversione. Avendo a disposizione due convertitori e volendo effettuare un controllo ciclico sulle grandezze monitorate, si potrà inserire un invertitore tra uno dei due convertitori ed il segnale di Chip Select che abilita la conversione, in modo da abilitare il primo convertitore quando il bit CS è alto ed il secondo convertitore quando CS è basso.

Lo schema è il seguente (fig. 3-31):

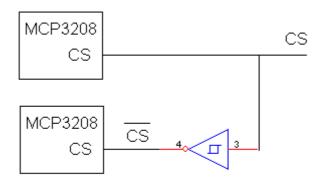


figura 3-31

L'invertitore sarà realizzato con il componente 74HCT14 della Philips le cui caratteristiche sono (tab.3-32):

| TABELLA 3-32 74 HCT14 | | |
|---------------------------|--------------|--|
| Numero di invertitori | 6 | |
| Tensione di alimentazione | 4.5V-5.5V | |
| Temperatura di Storage | -40°C +125°C | |
| Temperatura operativa | -40°C +125°C | |

La lista dei componenti della sezione di controllo sarà (tab. 3-33):

| TABELLA 3-33 | | | |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--|
| Lista componenti sezione di controllo | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | |
| 1 | PIC 16F877A | Microcontrollore | |
| 2 | MCP 3208 | Convertitore A/D | |
| 1 | MAX 233 | Adattatore di livello | |
| 1 | 74HCT541 | Buffer/line Driver | |
| 1 | 20 kΩ | Rete di resistori | |
| 1 | 20 MHz | Oscillatore al quarzo | |
| 2 | 33 pF | Condensatore | |
| 1 | 4148 | Diodo | |
| 1 | 10 kΩ | Resistenza | |
| 1 | 5 kΩ | Resistenza | |
| 1 | 10 pin | Connettore | |
| 3 | 2 pin | Connettore | |
| 1 | 74 HCT 14 | Invertitore | |

L'ultima operazione da fare, per concludere la fase di scelta dei componenti e passare alla realizzazione dello schema elettrico, è individuare che tipo di convertitore utilizzare per alimentare i dispositivi che compongono l'intero circuito.

Nella tabella 3-34 sono inseriti tutti i dispositivi che necessitano di alimentazione, riportando tensione di alimentazione e corrente assorbita:

| TABELLA 3-34 Dispositivi da alimentare | | |
|---|---------------------------|--------------------|
| Dispositivo | Tensione di alimentazione | Corrente assorbita |
| CMX60D10 | 3.0-10.0 Vdc | 15 mA @ 5 V |
| MPDCD3 | 3-32 Vdc | 2.6 mA @ 5 V |
| LTS 15-NP | 5 Vdc | 40 mA |
| LM 224 | 5 Vdc | 50 mA |
| PIC 16F877A | 5 Vdc | 500 mA |
| MAX233 | -0.3V - 6V | 15mA |
| MCP 3208 | 2.7-5.5 Vdc | 400 μΑ |
| 74 HCT 14 | 5 Vdc | 1 mA |
| 74 HCT 541 | 5 Vdc | 70 mA |

La tensione di alimentazione che rientra negli intervalli di definizione di tutti i dispositivi è 5 V. La somma di tutte le correnti assorbite dai dispositivi è :

$$I_{tot} = 700 mA$$

Come per gli altri DC/DC converters, si sceglie un prodotto della Traco Powers e precisamente il TEN 12-2411 (tab. 3-35).

| TABELLA 3-35 | | | | |
|---|--------|---------|---------------|------------|
| TEN 12-2411 | | | | |
| Input | Output | Output | Temperature | Efficiency |
| voltage voltage current max range typical | | | | |
| 9-36Vdc | 5Vdc | 2000 mA | -40°C to 85°C | 82% |

A completamento del circuito di alimentazione dei vari dispositivi costituenti la PDU, sono inseriti, come buona norma prevede, dei condensatori di livellamento del valore di 100 nF in prossimità del pin di alimentazione di ciascun componente. Inoltre, è aggiunta una morsettiera per l'alimentazione di ingresso ed un'altra per le varie uscite. La lista completa dei componenti è (tab. 3-36):

| TABELLA 3-36a Lista componenti | | | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|--|
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | |
| 2 | TEN 25-2412 | DC/DC converter | |
| 1 | TEL 5-2410 | DC/DC converter | |
| 1 | TEN 12-2411 | DC/DC converter | |
| 1 | TEN 25-2411 | DC/DC converter | |
| 3 | CMX60D10 | Relè | |
| 4 | MPDCD3 | Relè | |
| 1 | MF-R017 | Fusibile | |
| 3 | MF-R110 | Fusibile | |
| 1 | MF-R300 | Fusibile | |

| TABELLA 3-36b | | | | |
|------------------|-----------------|----------------------------|--|--|
| Lista componenti | | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | | |
| 1 | MF-R500 | Fusibile | | |
| 1 | MF-R1100 | Fusibile | | |
| 7 | LTS 15-NP | Trasduttore di corrente | | |
| 1 | 20kΩ | Resistenza di precisione | | |
| 6 | 5kΩ | Resistenza di precisione | | |
| 5 | 10kΩ | Resistenza di precisione | | |
| 2 | LM224 | Amplificatore operazionale | | |
| 6 | 20kΩ | Resistenza | | |
| 6 | 100nF | Condensatore | | |
| 1 | PIC 16F877A | Microcontrollore | | |
| 2 | MCP 3208 | Convertitore A/D | | |
| 1 | MAX 233 | Adattatore di livello | | |
| 1 | 74HCT541 | Buffer/line Driver | | |
| 1 | 20 kΩ | Rete di resistori | | |
| 1 | 20 MHz | Oscillatore al quarzo | | |
| 2 | 33 pF | Condensatore | | |
| 1 | 4148 | Diodo | | |
| 1 | 10 kΩ | Resistenza | | |
| 1 | 5 kΩ | Resistenza | | |
| 1 | 74 HCT 14 | Trigger di Schmitt | | |
| 1 | 10 pin | Connettore | | |
| 3 | 2 pin | Connettore | | |
| 1 | 4 poli | Morsettiera | | |
| 1 | 12 poli | Morsettiera | | |
| 21 | 100nF | Condensatore | | |

Non resta, a questo punto, altro da fare che dedicarsi alla scelta dei componenti per l'alimentazione dei carichi Switch RF1 e Switch RF2. Riassumendo quanto riportato nel paragrafo precedente, la struttura a blocchi del circuito RF è la seguente (fig. 3-32):

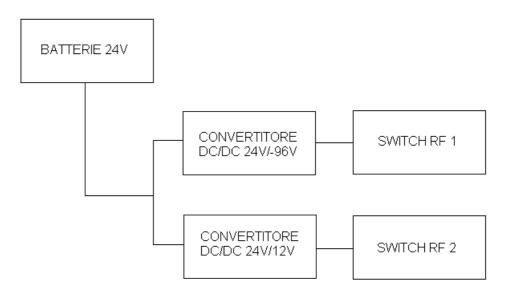


figura 3-32

La situazione più semplice da risolvere è quella del carico Switch RF2. Infatti, dalle specifiche, si ha che i valori di tensione e corrente nominali per questo carico sono (tab. 3-37) :

| TABELLA 3-37 | | | |
|--------------|-------------------|-------------------|--|
| Specifiche | | | |
| Carico | Tensione nominale | Corrente nominale | |
| Switch RF 2 | 5V ±0.5V | 100 mA | |

Si utilizzerà, data l'entità della corrente, un regolatore di tipo lineare. Il regolatore scelto è il componente LM7805, del quale le principali caratteristiche sono riassunte nella tabella 3-38:

| <i>TABELLA 3-38</i> LM7805 | | |
|-------------------------------|-----------------|--|
| Input Voltage max 35V | | |
| Output Current | 500 mA | |
| Storage temperature range | -40°C to +125°C | |
| Operating temperature range | -65°C to +150°C | |

Tutti valori concordi con le specifiche. Verranno inseriti anche due condensatori di livellamento da 330nF e 100nF ed una morsettiera a due elementi per collegare il carico al circuito. La lista dei componenti è riportata nella tabella 3-39:

| TIPTIL 2 20 | | | | |
|--------------------|-----------------|--------------|--|--|
| | TABELLA 3-39 | | | |
| Lista componenti | | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | | |
| 1 | LM 7805 | regolatore | | |
| 1 | 330 nF | condensatore | | |
| 1 | 100 nF | condensatore | | |
| 1 | 2 elementi | morsettiera | | |

Per quello che concerne il circuito riferito al carico Switch RF1 il primo passo è la scelta del regolatore fly-back.

Bisogna individuare un regolatore per circuiti fly-back che sia in grado di sopportare le tensioni e le correnti dettate dalle specifiche. Per effettuare la scelta giusta, risulta di grande aiuto l'utilizzo del software di sviluppo Webench, che il sito della National Semiconductor mette a disposizione. Il punto di partenza sarà inserire, nella schermata iniziale, i valori necessari allo sviluppo presi dalle specifiche e riportati nella tabella 3-40:

| TABELLA 3-40 Specifiche | | | |
|--|----------|------|--|
| Carico Tensione nominale Corrente nominale | | | |
| Switch RF 1 | -96V ±2V | 5 mA | |

Lo schermo apparirà (fig. 3-33):

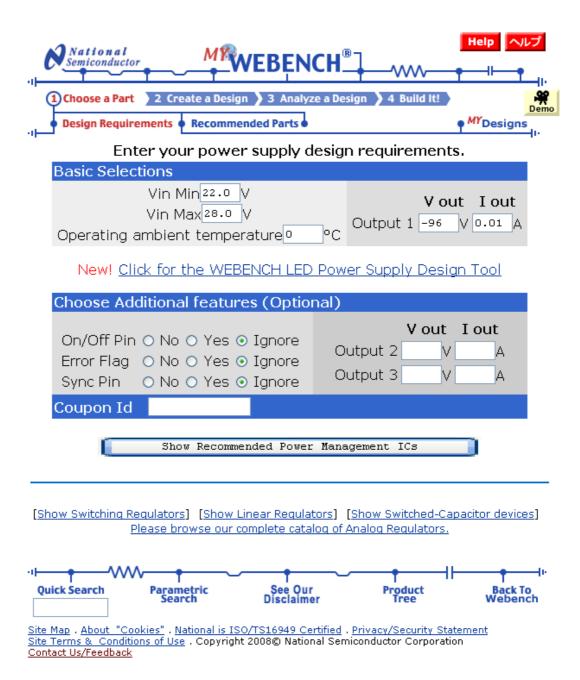


figura 3-33

Una volta compilata la schermata, cliccando sulla barra "Show Recommended Power Management Ics", il programma indicherà il componente più adatto alle specifiche

introdotte, oltre a fornire un circuito per la realizzazione del progetto. Il regolatore designato è LM2585-12 della National Semiconductor, di cui le principali caratteristiche sono riportate nella tabella 3-41:

| TABELLA 3-41 LM2585-12 | | |
|----------------------------|--|--|
| Supply Voltage | $4V \le V_{IN} \le 40V$ | |
| Output Switch Voltage | $0V \le V_{SW} \le 60V$ | |
| Output Switch Current | $I_{IN} \leq 3.0A$ | |
| Junction Temperature Range | $-40^{\circ}C \le T_J \le +125^{\circ}C$ | |
| Storage Temperature range | -65°C to +150°C | |
| Frequency | 100 kHz | |

Dal datasheet del componente si vede che, per applicazioni fly-back, il circuito del regolatore va completato come in figura 3-34.

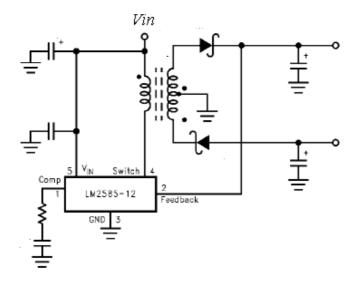


figura 3-34

La scelta specifica dei componenti necessari alla realizzazione del trasformatore e la restante circuiteria verrà effettuata, una volta realizzato il progetto del trasformatore stesso, nel prossimo paragrafo, non potendo a questo punto della trattazione, disporre di tutti i parametri necessari alla scelta.

3.3 Realizzazione del circuito stampato

Ha, ora, inizio la fase di realizzazione del circuito, che vede come primo obiettivo il collegamento dei componenti scelti. Anche in questo paragrafo, per semplicità di esposizione, il lavoro sarà diviso in tre sezioni.

Sezione di Potenza

I componenti individuati per questa sezione sono (tab. 3-42):

| TABELLA 3-42 | | | | |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|--|--|
| Lista | Lista componenti sezione di potenza | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | | |
| 2 | TEN 25-2412 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEL 5-2410 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEN 12-2411 | DC/DC converter | | |
| 1 | TEN 25-2411 | DC/DC converter | | |
| 3 | CMX60D10 | Relè | | |
| 4 | MPDCD3 | Relè | | |
| 1 | MF-R017 | Fusibile | | |
| 3 | MF-R110 | Fusibile | | |
| 1 | MF-R300 | Fusibile | | |
| 1 | MF-R500 | Fusibile | | |
| 1 | MF-R250-0-10 | Fusibile | | |

I relè a stato solido saranno i primi ad essere collegati. Si utilizzerà Orcad Capture per disegnare il circuito. Prima di inserire i componenti nel circuito, si dovrà provvedere alla definizione del layout mediante il programma Orcad Layout. Ciò vuol dire definire il componente nella sua totalità, assegnandone le dimensioni fisiche e definendo il numero e l'esatta etichetta dei vari pin. Si partirà, dunque, col ricercare sui datasheet tutte le informazioni necessarie. Come esempio verrà definito il componente CMX60D10, per gli altri le operazioni sono analoghe e quindi non saranno riportate. In primo luogo si definiranno le dimensioni fisiche del componente. Una volta aperto il programma Orcad Layout, si selezionerà dal menù "Tools" la voce "Library Manager" (fig. 3-35):

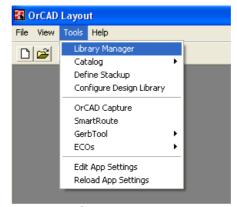


figura 3-35

La schermata visualizzata sarà (fig. 3-36):

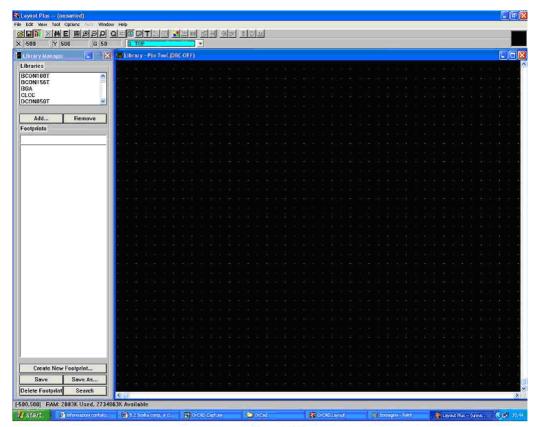
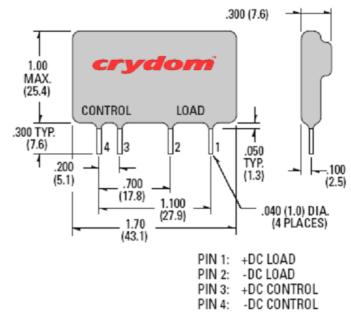


figura 3-36

Cliccando in basso a sinistra "Create New Footprint..." ha inizio il disegno del componente, utilizzando gli strumenti sistemati sulla barra in alto, facendo attenzione a rispettare le reali dimensioni riportate sul datasheet e verificando le unità di misura. Infatti, di solito, l'unità di misura utilizzata per la maggior parte dei componenti è inch, il pollice, che è di solito espressa nella sua millesima parte che è il mils. La conversione tra il mils ed i millimetri è la seguente:

1mils = 0.0254mm

Dal datasheet si riporta la pagina delle dimensioni fisiche (fig. 3-37):



All dimensions are in inches (millimeters)

figura 3-37

Disegnato il componente si ha (fig. 3-38):

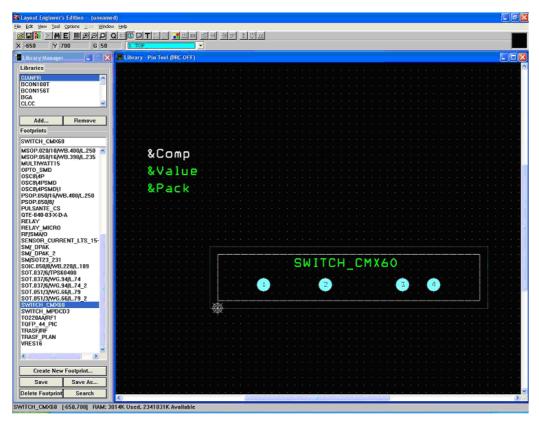


figura 3-38

Una volta ultimata la definizione del layout di tutti i componenti si potrà iniziare a disegnare il circuito. Dai datasheet dei componenti si ricavano i diagrammi di collegamento dei pin. Per il CMX60D10 il diagramma è riportato nella figura 3-37 mentre per l'MPDCD3 nella figura 3-39.

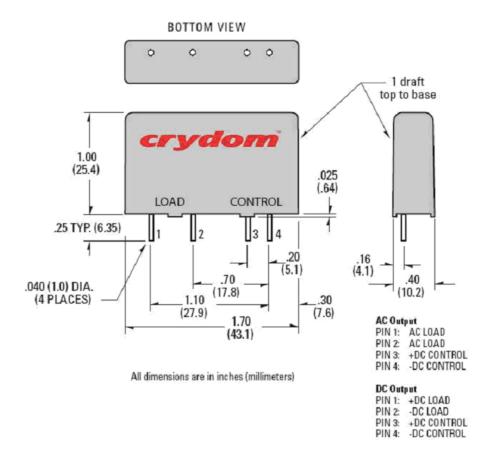


figura 3-39

Due pin andranno collegati ai dispositivi di controllo e gli altri due collegheranno il carico e l'alimentazione.

Il circuito sarà (fig. 3-39):



Ai pin contrassegnati dall'etichetta load, è stata collegata la tensione di ingresso, pari a 24V, lasciando, per ora, scollegato il secondo pin di load, che verrà collegato al prossimo componete, che costituisce la serie che arriva al carico. I pin di controllo saranno collegati, uno alla tensione di controllo e l'altro a massa. Si procede inserendo

i fusibili. Nel paragrafo 3.1 è stato individuato per ogni carico, il tipo di fusibile adatto, il tutto è riportato nella tabella 3-43:

| | TABELLA 3-43 | | | | |
|--------|--------------------------|-----------------|----------------------------|--|--|
| | | Fusibili | | | |
| Carico | Corrente nominale carico | Codice fusibile | Corrente nominale fusibile | | |
| Rx-Tx | 1 A | MF-R110 | 1.10 A | | |
| Switch | 105 mA | MF-R017 | 0.17 A | | |
| RF | 103 1111 | WII KOT7 | 0.17 71 | | |
| DU | 5 A | MF-R500 | 5 A | | |
| FGU | 1 A | MF-R110 | 1.10 A | | |
| CGU | 1 A | MF-R110 | 1.10 A | | |
| Amp. | 2.5 A | MF-R250-0-10 | 3 A | | |
| RF | 2.3 11 | 1011 10230 0-10 | 371 | | |
| PC di | 3 A | MF-R300 | 3 A | | |
| Bordo | 311 | MI 1300 | <i>31</i> 1 | | |

I fusibili andranno collegati in serie alla linea che porta l'alimentazione al carico. I dispositivi si presentano nella forma seguente (fig. 3-40):

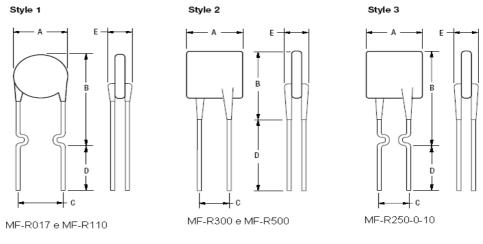
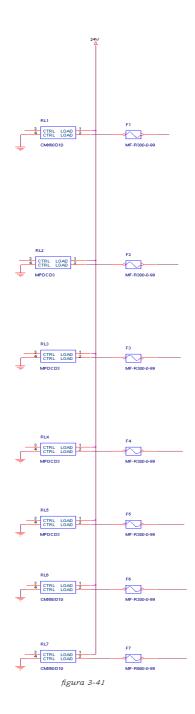


figura 3-40

Il circuito diventa (fig. 3-41):



Si colleghino, ora, i DC/DC converter.

Nella tabella 3-44 è riportato il tipo di convertitore associato al carico che dovrà alimentare:

| TABELLA 3-44 Convertitori | | |
|------------------------------|-------------|--|
| Carico | Modello | |
| Rx-Tx | TEN 25-2412 | |
| DU1 | TEN 25-2411 | |
| DU2 | TEL 5-2410 | |
| FGU | TEN 25-2412 | |
| CGU | TEN 12-2412 | |
| Alimentazione Dispositivi | TEN 12-2411 | |

E' ora possibile analizzare singolarmente i dispositivi scelti, visualizzando il diagramma dei pin di ciascun convertitore.

TEN 25-2412 e TEN 25-2411 (fig. 3-42).

| Pin-Out | | | |
|---------|---------------|------------|--|
| Pin | Single | Dual | |
| 1 | +Vin (Vcc) | +Vin (Vcc) | |
| 2 | -Vin (GND) | -Vin (GND) | |
| 3 | Remote On/Off | | |
| 4 | No pin + Vout | | |
| 5 | + Vout | Common | |
| 6 | -Vout | -Vout | |
| 7 | Trim | | |

figura 3-42

TEN 12-2412 e TEN 12-2411 (fig. 3-43).

| | Pin-Out | | | |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|--|--|
| Pin | Single | Dual | | |
| 1 | +Vin (Vcc) | +Vin (Vcc) | | |
| 2 | -Vin (GND) | -Vin (GND) | | |
| 3 | +Vout | +Vout | | |
| 4 | No pin | Common | | |
| 5 | -Vout | -Vout | | |
| 6 | Remote On/Off (optional) | Remote On/Off (optional) | | |

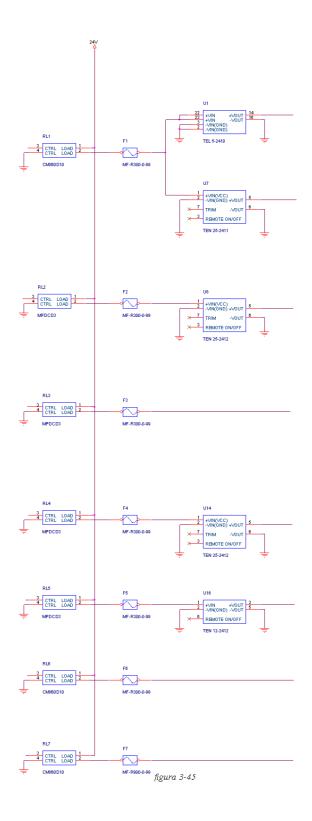
figura 3-43

TEL 5-2410 (fig. 3-44).

| Pin-Out | | | | |
|---------|------------|------------|--|--|
| Pin | Single | Dual | | |
| 2 | -Vin (GND) | -Vin (GND) | | |
| 3 | -Vin (GND) | -Vin (GND) | | |
| 9 | No pin | Common | | |
| 11 | No con. | -Vout | | |
| 14 | +Vout | +Vout | | |
| 16 | -Vout | Common | | |
| 22 | +Vin (Vcc) | +Vin (Vcc) | | |
| 23 | +Vin (Vcc) | +Vin (Vcc) | | |

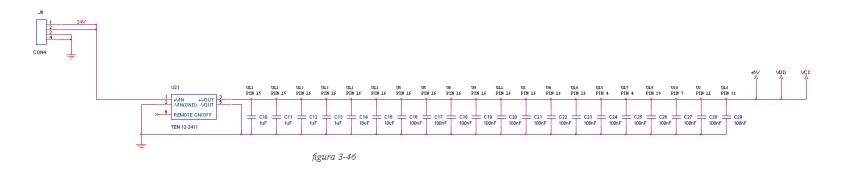
figura 3-44

Presa visione della tabella 3-44 e delle figure 3-42, 3-43 e 3-44, si realizza il circuito (fig. 3-45).



Il convertitore che alimenta tutti i dispositivi della PDU è riportato separatamente, aggiungendo anche i condensatori di livellamento, che, anche se nello schema del circuito sono sistemati accanto al DC/DC converter, verranno posizionati accanto a ciascun dispositivo nella fase di realizzazione del circuito stampato.

Lo schema è (fig. 3-46):



CAPITOLO 3 Realizzazione del circuito stampato

Sezione di misura

Nella tabella 3-45 sono riportati i componenti necessari per realizzare la sezione di misura.

| TABELLA 3-45 Lista componenti | | | | | |
|----------------------------------|-----------|----------------------------|--|--|--|
| Numero Codice Articolo Tipologia | | | | | |
| 7 | LTS 15-NP | Trasduttore di corrente | | | |
| 1 | 20kΩ | Resistenza di precisione | | | |
| 6 | 5kΩ | Resistenza di precisione | | | |
| 5 | 10kΩ | Resistenza di precisione | | | |
| 2 | LM224 | Amplificatore operazionale | | | |
| 6 | 20kΩ | Resistenza | | | |
| 6 | 100nF | Condensatore | | | |

Si considerano, in primo luogo, i trasduttori di corrente. Nel paragrafo 3.2 si è visto che la corrente nominale dei trasduttori deve essere pari a cinque Ampere per tutti i trasduttori, tranne per quello dedicato all'amplificatore RF che avrà un valore di corrente nominale pari a quindici Ampere. Potendo impostare il trasduttore scelto, in modo da avere tre correnti nominali diverse, utilizzando il datasheet del componente, si veda come impostare la corrente voluta (fig. 3-47).

CAPITOLO 3 Realizzazione del circuito stampato

| Number of primary turns | Primary nominal current rms | Nominal output voltage \mathbf{V}_{out} [V] | Primary resistance R _P [mΩ] | Primary insertion inductance L _P [µH] | | Recommended connections | |
|-------------------------------|-----------------------------|--|--|--|----|------------------------------|-----|
| 1 | ± 15 | 2.5 ± 0.625 | 0.18 | 0.013 | IN | 6 5 4 0 0 0 1 2 3 | OUT |
| 2 | ± 7.5 | 2.5 ± 0.625 | 0.81 | 0.05 | IN | 6 5 4 0 0 0 1 2 3 | OUT |
| 3 | ± 5 | 2.5 ± 0.625 | 1.62 | 0.12 | IN | 6 5 4 0 0 0 0 1 2 3 | OUT |

figura 3-47

I collegamenti sono:

per l'amplificatore RF (fig. 3-48).

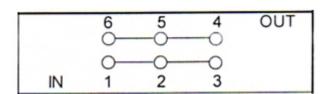


figura 3-48

per tutti gli altri (fig. 3-49).

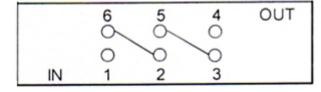


figura 3**-**49

CAPITOLO 3

Realizzazione del circuito stampato

Oltre al collegamento dei pin per l'impostazione del valore di fondo scala della corrente, si devono anche collegare il pin di uscita e quelli di alimentazione del dispositivo. Lo schema di collegamento è riportato in figura 3-50.

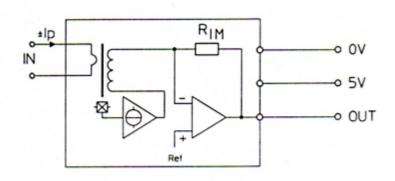
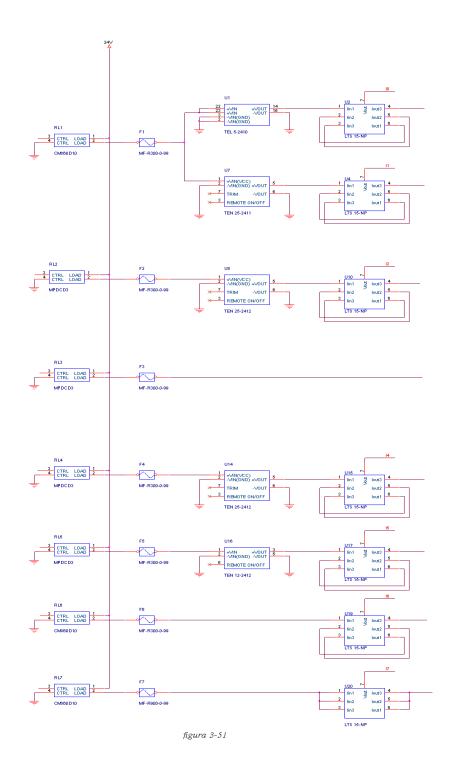


figura 3**-**50

CAPITOLO 3 Realizzazione del circuito stampato

Lo schema del circuito diventa (fig. 3-51):



Nel circuito di figura 3-51 è stata omessa la parte relativa all'alimentazione dei dispositivi componenti la PDU. Non resta che aggiungere i partitori ed i filtri atti a misurare la tensione. I circuiti sono stati riportati nel paragrafo 3.1, quindi, non resta altro da fare che collegarli al resto del circuito, inserendo i resistori del giusto valore in funzione della tensione da misurare. I partitori sono stati divisi in due tipologie: quelli con una tensione nominale compresa tra 0V e 15V e quelli con una tensione tra 0V e 30V. L'obiettivo è avere, in ingresso al convertitore analogico digitale, un valore di tensione compreso tra 0V e 5V, che sia, il più possibile, prossimo a 5V, in modo da ottenere una buona risoluzione. Con riferimento allo schema del partitore, si ha (fig. 3-52):

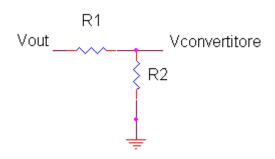


figura 3-52

Si consideri il caso con tensione compresa tra 0 e 30V. Per avere $V_{convertitore}=5V$ quando $V_{out}=30V$ deve essere:

$$V_{convertitore} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out} \Longrightarrow 5 \cdot (R_1 + R_2) = 30 \cdot R_2$$

Essendo due le incognite, una seconda relazione si ricava imponendo che nel partitore circoli una corrente di 1mA.

$$V = R \cdot I \Rightarrow R = R_1 + R_2 = I \cdot V_{out} \Rightarrow R_1 + R_2 = 30k\Omega$$

CAPITOLO 3

Realizzazione del circuito stampato

Risolvendo il sistema seguente si ha:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = 30k\Omega \\ 5 \cdot (R_1 + R_2) = 30 \cdot R_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = 25k\Omega \\ R_2 = 5k\Omega \end{cases}$$

Per quello che concerne le tensioni comprese tra 0 e 15V si ha:

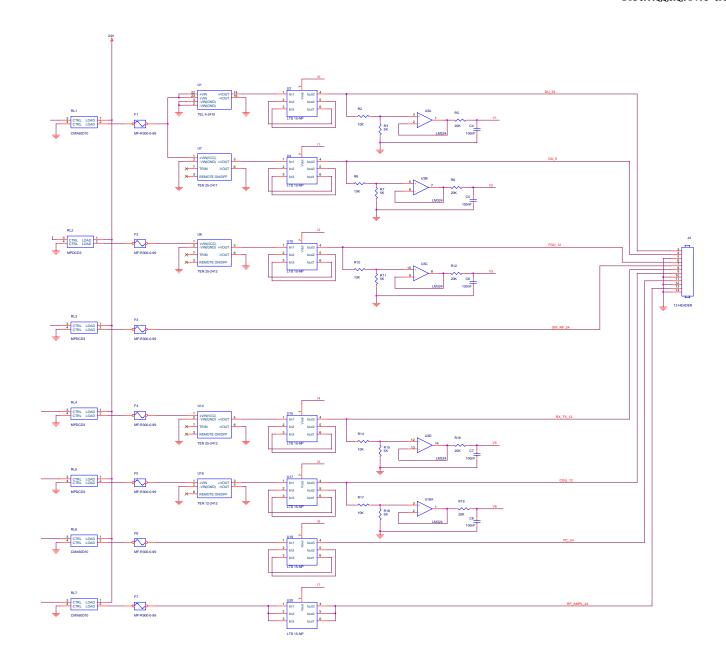
$$V_{convertitore} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out} \Longrightarrow 5 \cdot (R_1 + R_2) = 15 \cdot R_2$$

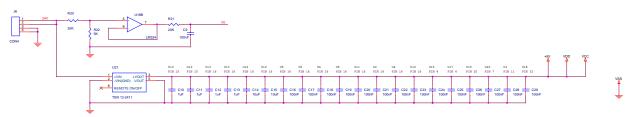
Imponendo che nel partitore circoli una corrente di 1mA.

$$V = R \cdot I \Longrightarrow R = R_1 + R_2 = I \cdot V_{out} \Longrightarrow R_1 + R_2 = 15k\Omega$$

Risolvendo il sistema seguente si ha:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = 15k\Omega \\ 5 \cdot (R_1 + R_2) = 15 \cdot R_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = 10k\Omega \\ R_2 = 5k\Omega \end{cases}$$





Sono state aggiunte anche due morsettiere per collegare la PDU sia agli ingressi che ai carichi.

Sezione di controllo

La prima cosa sarà quella di collegare la circuiteria necessaria al microcontrollore per il suo corretto funzionamento, cioè alimentazione, oscillatore reset e comando di programmazione. Infine, si collegheranno i restanti dispositivi. Il diagramma delle connessioni del microcontrollore PIC16F877A (fig. 3-54).

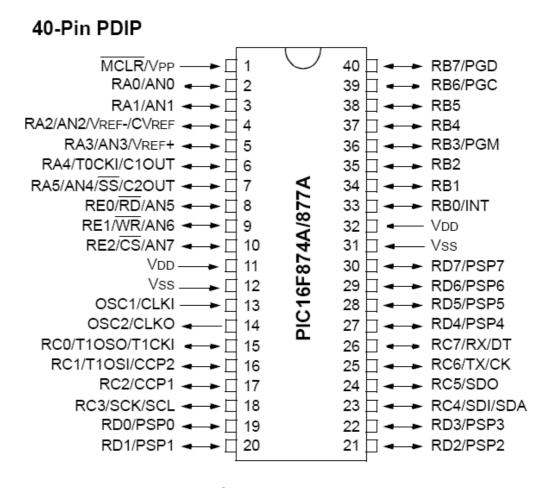
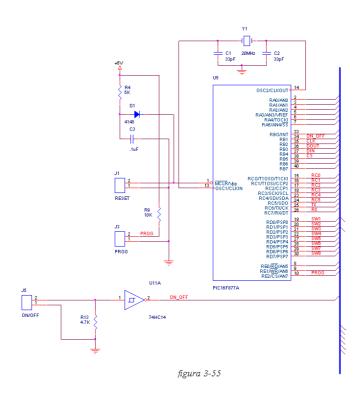


figura 3-54

Nel paragrafo precedente sono stati già elencati i dispositivi a corredo del microcontrollore. Non resta che collegarli nella maniera indicata nella figura 3-55.



Si passa, ora, al collegamento dei convertitori analogico digitali. I convertitori analogico digitali sono MCP3208, il diagramma delle connessioni dei pin è (fig. 3-56 e 3-57):

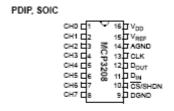


figura 3-56

PIN FUNCTION TABLE

| MCP3208 | | | |
|------------|------------------|----------------------------|--|
| PDIP, SOIC | Symbol | Definition | |
| 1 | CH0 | Analog Input | |
| 2 | CH1 | Analog Input | |
| 3 | CH2 | Analog Input | |
| 4 | CH3 | Analog Input | |
| 5 | CH4 | Analog Input | |
| 6 | CH5 | Analog Input | |
| 7 | CH6 | Analog Input | |
| 8 | CH7 | Analog Input | |
| 9 | DGND | Digital Ground | |
| 10 | CS/SHDN | Chip Select/Shutdown Input | |
| 11 | D _{IN} | Serial Data In | |
| 12 | D _{out} | Serial Data Out | |
| 13 | CLK | Serial Clock | |
| 14 | AGND | Analog Ground | |
| 15 | V _{REF} | Reference Voltage Input | |
| 16 | V _{DD} | +2.7V to 5.5V Power Supply | |
| _ | NC | No Connection | |

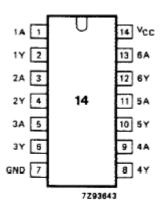
figura 3-57

Ai canali di ingresso del convertitore andranno collegate le uscite dei partitori e dei trasduttori di corrente, il clock seriale sarà collegato al pin RB1 del PIC16F877A, l'uscita e l'ingresso seriale saranno collegati, rispettivamente, ai pin RB2 e RB3 ed il segnale di Chip select sarà collegato al pin RB4. Il trigger di Schmitt 74HCT14 andrà collegato come riportato nel paragrafo 3.2. Nella figura 3-58 si trova la descrizione dei pin del dispositivo e nella figura 3-59 quello delle connessioni.

PIN DESCRIPTION

| PIN NO. | SYMBOL | NAME AND FUNCTION |
|--------------------|-----------------|-------------------------|
| 1, 3, 5, 9, 11, 13 | 1A to 6A | data inputs |
| 2, 4, 6, 8, 10, 12 | 1Y to 6Y | data outputs |
| 7 | GND | ground (0 V) |
| 14 | V _{CC} | positive supply voltage |

figura 3-58



Pin configuration.

figura 3-59

Il circuito è (fig. 3-60):

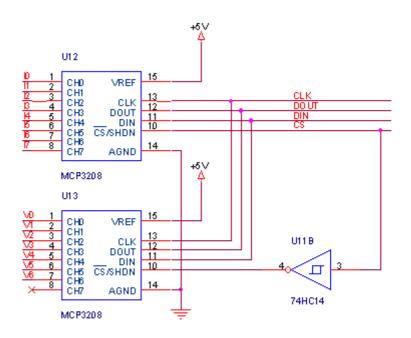


figura 3-60

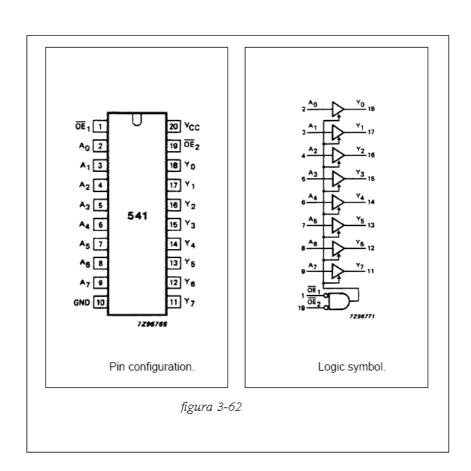
A questo punto si passa al collegamento del driver per i relè a stato solido 74HCT541. Nella figura 3-61 è riportata la descrizione dei pin.

PIN DESCRIPTION

| PIN NO. | SYMBOL | NAME AND FUNCTION |
|--------------------------------|--|----------------------------------|
| 1, 19 | $\overline{\text{OE}}_1, \overline{\text{OE}}_2$ | output enable input (active LOW) |
| 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | A ₀ to A ₇ | data inputs |
| 10 | GND | ground (0 V) |
| 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11 | Y ₀ to Y ₇ | bus outputs |
| 20 | Vcc | positive supply voltage |

figura 3-61

Nella figura 3-62 sono riportati il diagramma di configurazione dei pin e i simboli logici.



Ogni ingresso del driver sarà collegato alla PORTD del PIC16F877A e precisamente dal RD0 all'RD7. I due ingressi di abilitazione verranno collegati a massa, in modo da avere il dispositivo sempre abilitato, non avendo la necessità di gestire una funzione di questo tipo. Inoltre, ci sarà una resistenza di pull-up su ciascun pin di ingresso al driver (fig. 3-63).

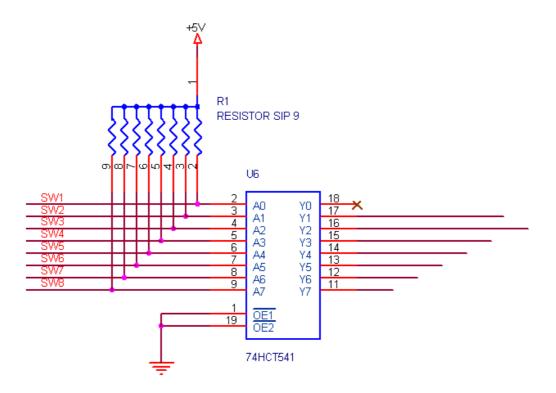


figura 3-63

L'ultimo passo è collegare il MAX233 per realizzare il protocollo di comunicazione RS232. Nella figura 3-64 sono riportati il diagramma di configurazione dei pin e il circuito operativo tipico.

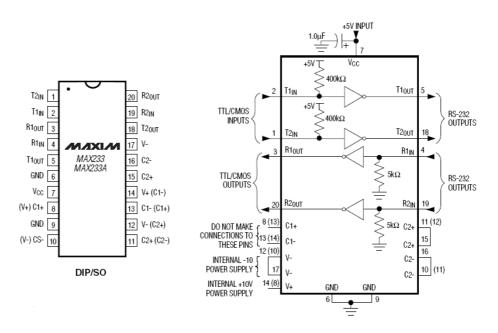


figura 3-64

Le connessioni, in analogia a quanto riportato nel diagramma, sono (fig. 3-65).

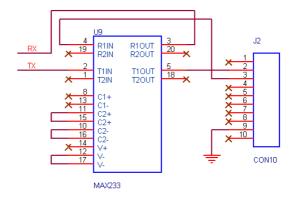
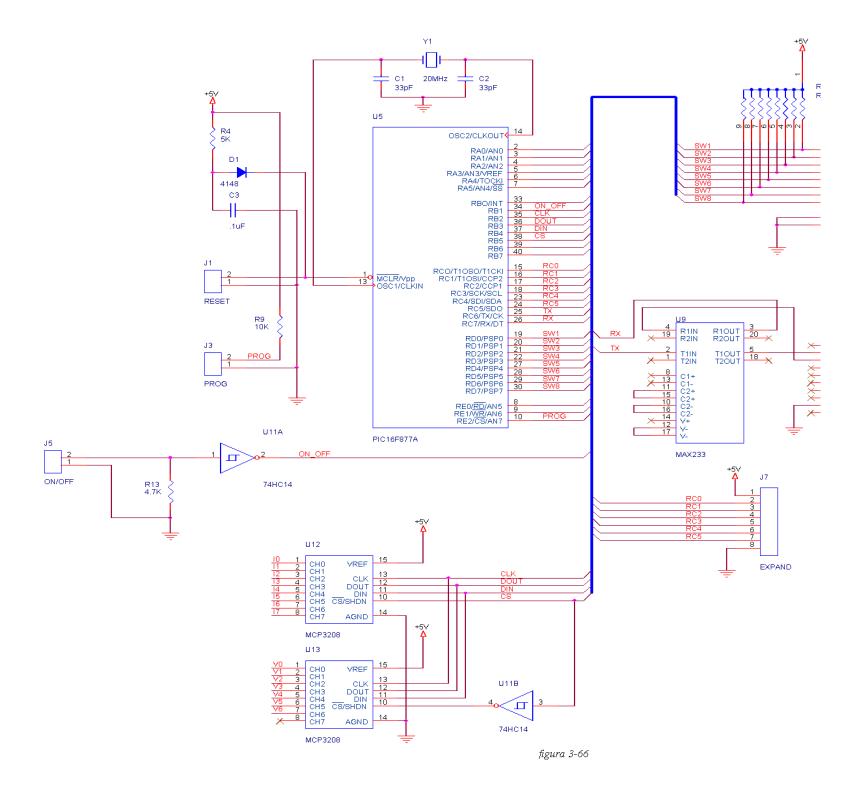
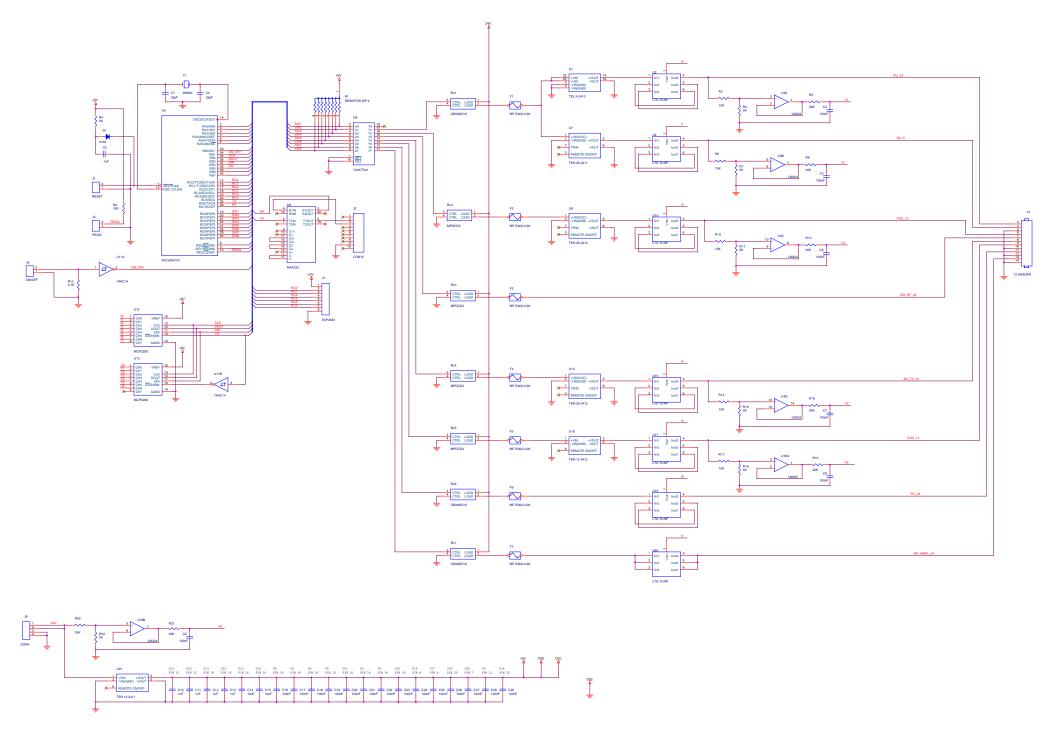


figura 3-65

Il circuito finale è (fig. 3-66):

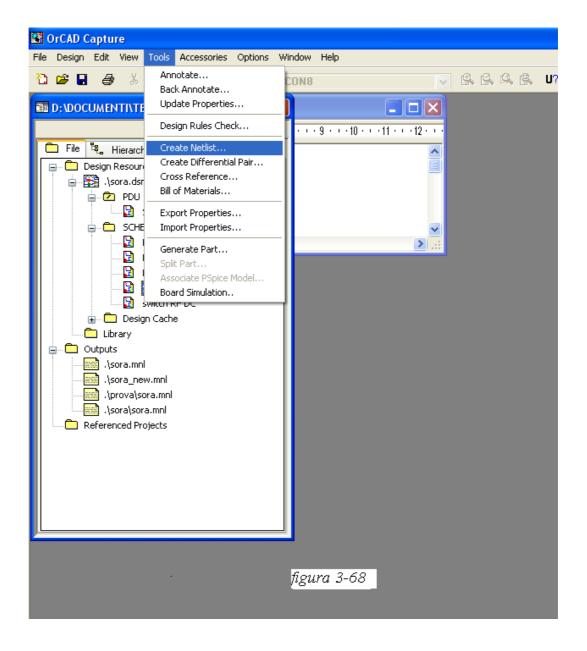


Nel circuito di figura 3-64 si può notate che è stata anche inserita una morsettiera, alla quale sono stati collegati i pin di PORTC del microcontrollore RC0, RC1,RC2,RC3,RC4,RC5, la tensione +5V e la massa. A questo punto, è stato completato il circuito (fig. 3-67) nel quale sono definiti tutti i componenti con i rispettivi layout.

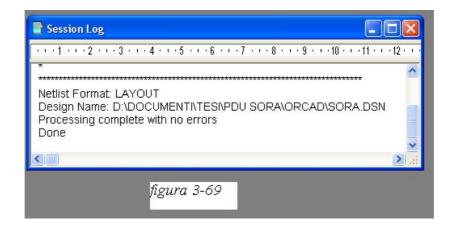


Non resta altro da fare che eseguire lo sbroglio del circuito, ultimo passo prima di passare alla realizzazione pratica del circuito.

Dal programma Orcad Capture si apra il menù "Tools" e si scelga "Create Netlist", come mostrato nella figura 3-68.



Scelto il nome ed il percorso del file, se l'operazione è andata a buon fine, comparirà la schermata riportata in figura 3-69.



E' stato generato un file SORA.max che verrà aperto con orcad layout e la schermata iniziale sarà (fig. 3-70):

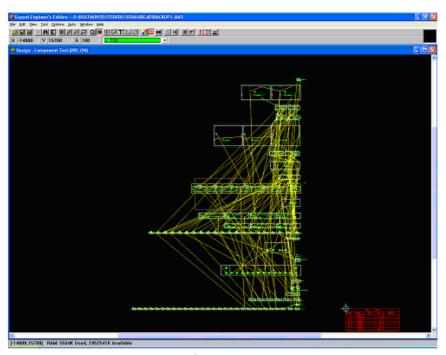
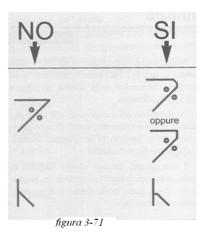


figura 3-70

Ora, tutti i componenti devono essere sistemati opportunamente, facendo in modo che i percorsi dei collegamenti non si sovrappongano. Per fare ciò, saranno a disposizione due superfici dove poter collocare le piste del circuito. Nell'operazione di tracciatura della piste ci sono delle semplici, ma fondamentali regole, da seguire per conseguire un risultato ottimale. Per prima cosa, sarà opportuno disegnare prima le piste di potenza, che normalmente sono più larghe di quelle di segnale. Le indicazioni da rispettare sono:

 Evitare angoli acuti. Le piste con angoli acuti rischiano di staccarsi dalla basetta, fenomeno della delaminazione. Inoltre, nei circuiti ad alta tensione, le piste con angoli acuti hanno il cosiddetto "potere della punta", cioè favoriscono la generazione di campo elettrico, con la possibilità che si inneschi un arco elettrico (fig. 3-71).



2. La piazzola ha lo scopo di facilitare la saldatura, per questo motivo, il suo diametro deve essere maggiore della pista a cui è collegata. Se la pista deve essere larga per motivi elettrici, è preferibile tenere le piazzole a un lato della pista, come si vede nella figura 3-72.

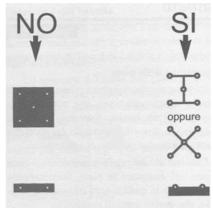


figura 3-72

 Evitare giri complicati, in modo da consentire al circuito di avere un certo ordine, anche per evitare fenomeni parassiti come rumore e autoscillazioni.
 Fare in modo che le piste siano uniformemente distribuite sulla basetta (fig. 3-73).

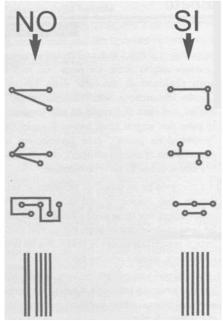
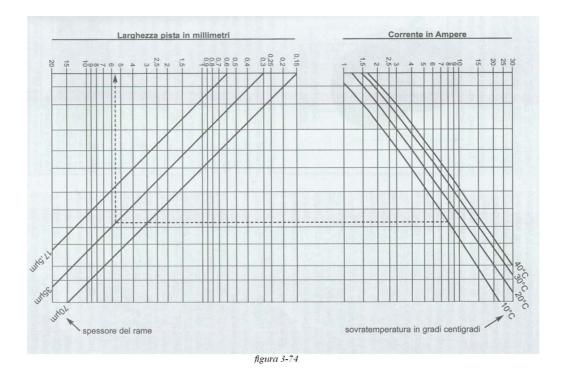


figura 3-73

Fase importante dello sbroglio è la determinazione della larghezza delle piste. In linea di principio, esse dovrebbero essere il più sottile possibili. Questo consentirebbe di

ottimizzare lo spazio sulla basette, a vantaggio della miniaturizzazione. Tuttavia, bisogna considerare che piste troppo sottili (inferiori a 0.3mm di larghezza) sono difficilmente realizzabili a livello artigianale, oltre al fatto che se si superano i 100mA bisogna dimensionare adeguatamente la larghezza della pista. Per dimensionare correttamente la larghezza della piste, si può far riferimento al grafico di figura 3-74, attraverso il quale, fissata la sovratemperatura e lo spessore caratteristico della basetta di rame scelta, si ricava il valore desiderato.



La sovratemperatura è un parametro che indica la massima differenza di temperatura della pista, rispetto a quella ambiente, quando la pista è attraversata da corrente. I valori tipici sono circa 10°C/20°C.

Si valuta a questo punto la larghezza delle piste del circuito, utilizzando il grafico di figura 3-74

Per i carichi che hanno una corrente nominale di 4A si ha una larghezza di 2.5mm che convertita è 100mils (fig. 3-75). Si è scelto di sovradimensionare a 5A la pista, in

modo da evitare problemi di sovratemperatura che è comunque stata scelta prossima ai 15°C.

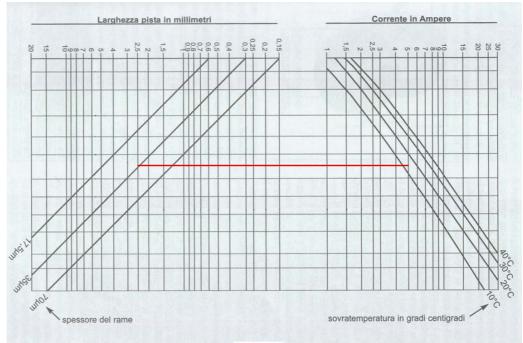


figura 3-75

Per i carichi che hanno una corrente nominale di 3A si ha una larghezza di 2.3mm che convertita è 90mils (fig. 3-76). Si è scelto di sovradimensionare, anche in questo caso, a 4A la pista, in modo da evitare problemi di sovratemperatura che è stata scelta pari a 10°C.

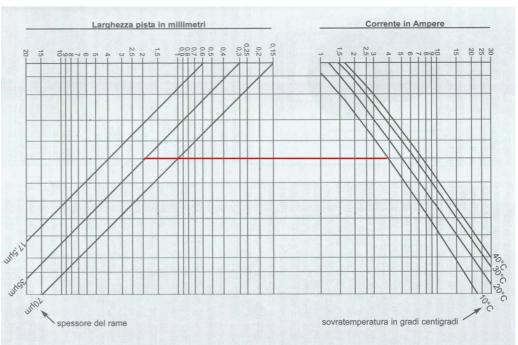


figura 3-76

Per le zone interessate da una corrente di 12A si ha un larghezza di 5.3mm che convertito è circa 200mils (fig. 3-77).

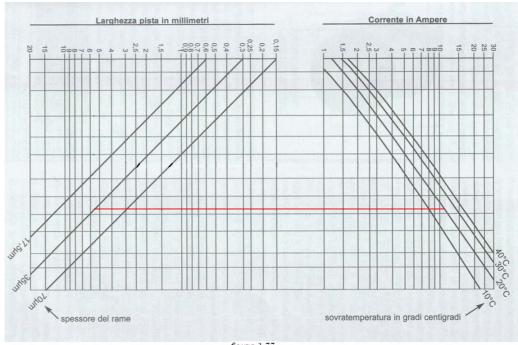


figura 3-77

Per le zone interessate da una corrente di 1A si ha una larghezza di 1.5mm, che convertita è circa 60mils. Per le piste di segnale si è scelto una larghezza di 40mils. Anche la distanza tra due piste parallele, oltre a quella tra pista e piazzola, deve rispettare delle regole. Nei circuiti ad alta frequenza, due piste troppo vicine potrebbero creare un accoppiamento capacitivo, che potrebbe generare della autoscillazioni indesiderate. Inoltre, se tra due piste c'è un'alta differenza di potenziale potrebbe innescarsi una scarica (arco elettrico). La tabella 3-45 indica la distanza minima consigliata tra le piste in funzione della tensione applicata ai loro capi.

| TABELLA 3-45 | | | | | |
|-----------------------------|-------|--|--|--|--|
| Distanze minime consigliate | | | | | |
| Tra piste parallele | | | | | |
| Bassa tensione (fino a 30V) | 0.4mm | | | | |
| Tensione di rete (230V) | 3.2mm | | | | |
| Tra pista e piazzola | | | | | |
| Bassa tensione (fino a 30V) | 0.3mm | | | | |
| Tensione di rete (230V) | 3.0mm | | | | |

Per quello che concerne le dimensioni delle piazzole, si deve considerare la differenza tra THT e SMT. Nella tecnologia THT, a foro passante, le piazzole dovrebbero avere un diametro di almeno 1mm in più, rispetto a quello del foro. Nei circuiti in tecnologia SMT, la larghezza della piazzola può essere considerata identica a quella del reoforo del componente o leggermente maggiore. Naturalmente, dovrà sporgere in lunghezza per consentire la saldatura, preferibilmente di almeno 0.4mm (fig. 3-78)

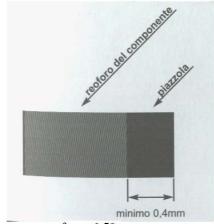


figura 3-78

Il circuito, a conclusione dello sbroglio risulta:

TOP (fig. 3-79)

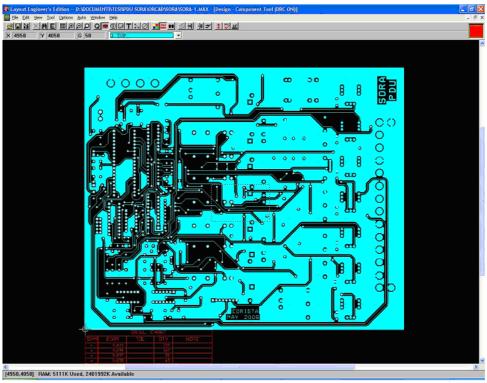


figura 3**-**79

BOT (fig. 3-80)

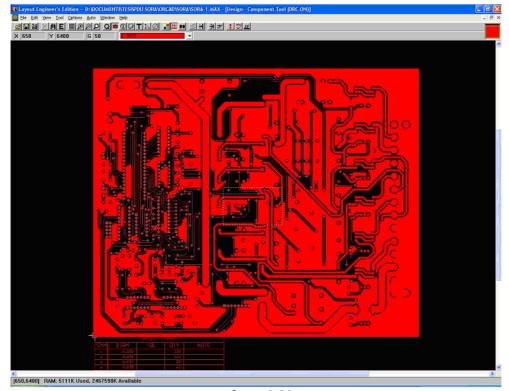
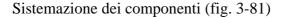


figura 3-80



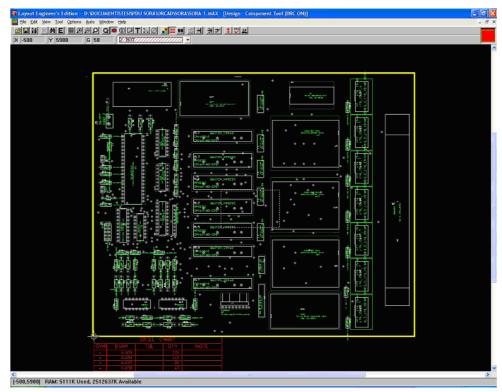


figura 3-81

Dato che il circuito stampato sarà realizzato da un ditta esterna al Co.Ri.S.T.A., specializzata in realizzazione di PCB, verrà generato, sempre mediante Orcad, il file Gerber. File che contiene, in formato standard, tutte le informazioni relative alle piste e piazzole, al piano di foratura, al diametro dei fori, alla maschera per il solder resist e alla serigrafia, che verrà consegnato alla ditta.

Il circuito stampato finito è mostrato nelle figure 3-82 per il TOP e 3-83 per il BOT.

TOP

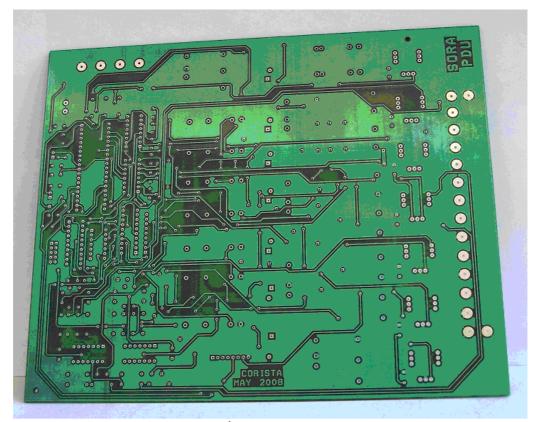


figura 3-82

BOT

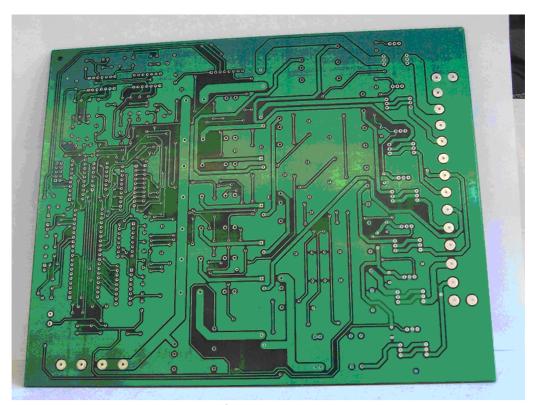


figura 3-83

Pronto il circuito stampato, è buona norma effettuare ulteriori controlli sulla correttezza dei collegamenti realizzati. Per questo motivo, mediante un tester, sono stati provati tutti i collegamenti del circuito, verificando la continuità e l'assenza di cortocircuiti, sia sui pin di potenza che su quelli di segnale dei vari dispositivi. Accertata la bontà del circuito stampato, può avere inizio la fase di saldatura dei componenti. La saldatura consente di unire due conduttori, reoforo del componente e piazzola del circuito stampato, mediante un terzo conduttore, lo stagno, che viene fuso tra i due conduttori in modo da formare una giunzione. Lo stagno, disponibile in commercio sotto forma di filo, era composto, fino a poco tempo fa, da una lega di stagno e piombo, sostituita, per l'avvento della direttiva RoHS, di cui nell'Appendice B si trova un approfondimento, da leghe diverse. La prima cosa, per effettuare ottime saldature, è assicurarsi che i due conduttori non presentino tracce di ossido. Qualora vi

fossero, è necessario rimuoverle pulendo i conduttori. Anche per questo, nello stagno è presente del flussante, sostanza che permette di eliminare i residui di ossido. La saldatura avviene riscaldando la piazzola per pochi secondi e, contemporaneamente, sciogliendo lo stagno tra reoforo del componente e piazzola, depositando così la giusta quantità di stagno nel modo corretto. La quantità di stagno deve essere sufficiente a coprire la piazzola. La figura 3-84 mostra come si presenta una buona saldatura.



figura 3-84

Bisogna dunque evitare che la saldatura assuma un aspetto non consono, come mostrato nella figura 3-85.

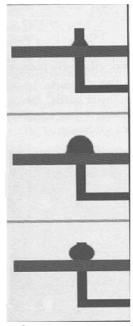


figura 3-85

Sistemando ciascun componente, di volta in volta, sul circuito stampato verranno realizzate le saldature. Qualora il componente presentasse dei reofori troppo lunghi e da piegare, bisogna prestare attenzione alla realizzazione della piegatura. Il modo corretto è illustrato nella figura 3-86.

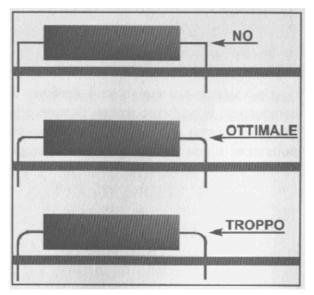


figura 3-86

Dopo la saldatura, la parte eccedente di reoforo sarà tagliata con una tronchese. Il taglio dovrà essere effettuato in modo da evitare controindicazioni come visualizzato in figura 3-87.

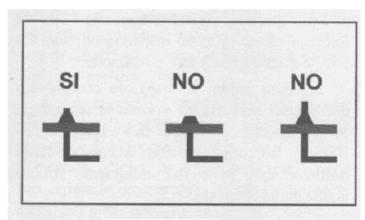


figura 3-87

Il circuito finito si presenta così (fig.3-88).

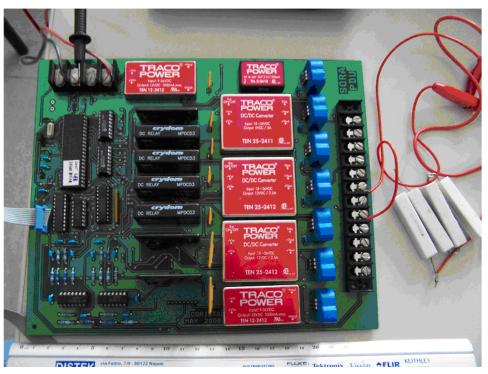


figura 3-88

Si passa, ora, alla realizzazione del circuito stampato per l'alimentazione dei carichi Switch RF1 e Switch RF2. Il primo circuito sarà quello per il carico Switch RF2. Si precisa che, anche per il seguente circuito stampato, si utilizzeranno gli stessi strumenti adottati in precedenza, quindi non verranno descritte le operazioni di layout dei componenti e le operazioni di sbroglio del circuito. Il diagramma di assegnazione dei pin del componente LM7805 è riportato in figura 3-89.

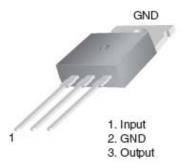


figura 3-89

Nel datasheet del componente si trova la configurazione del circuito con i valori tipici per applicazioni di regolazione della tensione di uscita (fig. 3-90)

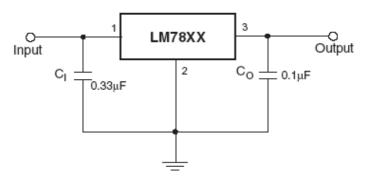
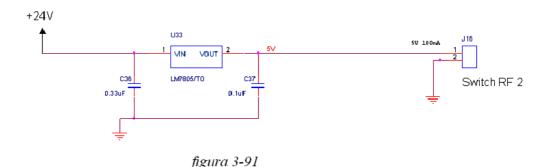
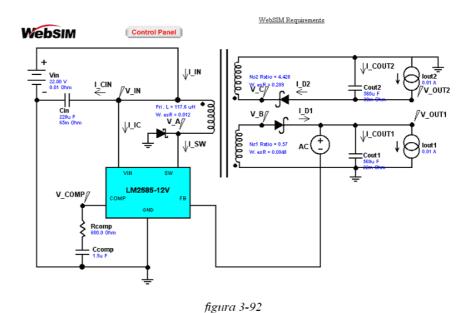


figura 3-90

Il circuito risultante è il seguente (fig. 3-91):



Completato il circuito per il carico Switch RF2, si passa alla realizzazione del circuito per il carico Switch RF1. Nel paragrafo precedente, il componente, designato per realizzare il circuito fly-back, è stato scelto con l'ausilio del software di sviluppo Webench della National Semiconductor, che, oltre a fornire indicazioni sul tipo di componente da scegliere, ha suggerito anche uno schema circuitale da seguire. Il circuito, mediante lo stesso programma di simulazione, potrà essere ottimizzato al raggiungimento dei valori imposti dalle specifiche. Il circuito proposto è il seguente (fig. 3-92).



Perno del circuito è il trasformatore ad alta frequenza. I passi da seguire nel progetto del trasformatore sono riportati in figura 3-93:

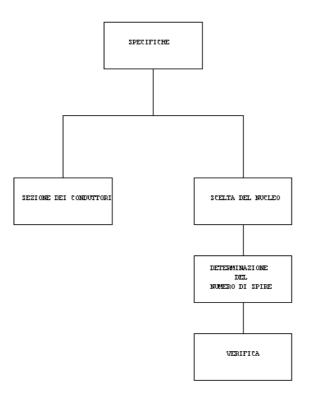


figura 3-93

- Si definiscono le specifiche. Analizzando il datasheet del componente LM2585-12, si vede che il regolatore individuato presenta cinque pin:
 - Compensation
 - Feedback
 - Ground
 - Switch
 - V_{IN}

Ovvia la presenza di $V_{\rm IN}$, tensione di ingresso, Ground e Switch, uscita, si analizzano gli altri due pin. Il pin di Feedback serve per effettuare un continuo controllo sulla tensione di uscita. Infatti, osservando il diagramma a blocchi della struttura logica del regolatore riportato in figura 3-94, si nota che è prevista una circuiteria in grado di correggere eventuali errori sulla tensione di riferimento.

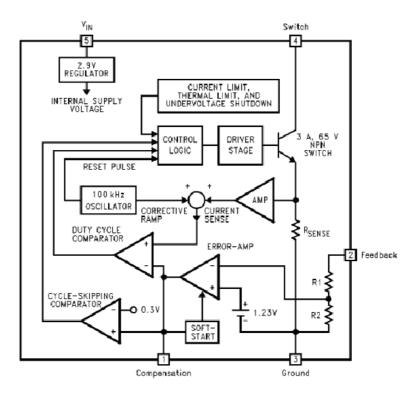


figura 3-94

La presenza di questo parametro rende necessaria la realizzazione di un trasformatore con due secondari, un secondario per il carico ed uno per il controllo avente tensione pari a 12V. Le tensioni e le correnti al secondario sono quindi definite dalle specifiche del carico Switch RF 1 e dai valori di feedback richiesti dal regolatore LM2585-12, riportati nel datasheet del

componente. Le specifiche di tensione e corrente al secondario del trasformatore sono (tab. 3-46):

| TABELLA 3-46 | | | | | | |
|---|------------|------|--|--|--|--|
| Specifiche del secondario del trasformatore | | | | | | |
| Carico Tensione nominale Corrente nominale | | | | | | |
| Switch RF 1 | -96V ±2V | 5 mA | | | | |
| Feedback | 12V ±0.25V | 30μΑ | | | | |

Per il primario si riporta la tensione di ingresso $24V \pm 2V$. Riassumendo tutte le caratteristiche si ha che (tab. 3-47):

| TABELLA 3-47 | | | | | |
|-----------------------------|------------|--|--|--|--|
| Specifiche del trasform | atore | | | | |
| Potenza di uscita | 800mW | | | | |
| Frequenza nominale | 100kHz | | | | |
| Primario | | | | | |
| Tensione nominale 24V ±2V | | | | | |
| Secondario | | | | | |
| Tensione nominale Switch RF | -96V ±2V | | | | |
| Corrente nominale Switch RF | 5 mA | | | | |
| Tensione nominale Feedback | 12V ±0.25V | | | | |
| Corrente nominale Feedback | 30μΑ | | | | |

La potenza del trasformatore è stata valutata aggiungendo un 25% a quella necessaria.

2. La scelta del nucleo. L'individuazione del nucleo più adatto dipende da numerosi fattori. Fissata la frequenza operativa e valutata la potenza con l'ausilio di dati tabellati, si riesce a determinare il nucleo più vicino alle esigenze di progetto. La scelta definitiva del nucleo, oltre ad essere dettata da parametri puramente tecnici, sarà condizionata da logiche di mercato, che rendono facilmente reperibili non tutti i tipi di nuclei messi a disposizione dall'industria e che quindi imporranno scelte obbligate. Infatti, analizzando la tabella 3-48 riportata in seguito, si nota che il tipo di nucleo, che soddisfa pienamente le specifiche, è l'RM4, come evidenziato in giallo nella tabella 3-48.

| | | | | 77.1 | וזשס | .A 3-4 | 10 | | | | |
|---------|------------|-----------------|------------|---------------------|--------------------------|------------|---------------------|-------------|-------------|--------------------|--|
| · . | lastian ta | bles: Pov | | | .DELI | _A 5-4 | 10 | | | | |
| 36 | rection ta | ibles. Pov | ver сара | ciues | | | | | | | |
| | | | | | Power (| capacities | | | | | |
| | | | | | Push-p | ull | Single-e | ended | Flyback | | |
| | | | | | | converter | | converter | | converter | |
| Core | Mate- | V | f_{typ} | f _{cutoff} | F_{trans} | Ftrans | F_{trans} | F_{trans} | F_{trans} | F _{trans} | |
| shape | rial | Volume | | | (f _{typ}) W | (icutorr) | (f _{typ}) | (fouton) | (f_{typ}) | (fouton) | |
| | | mm ³ | kHz | kHz | W | W | w" | W | w" | W | |
| RM core | s | | | | | | | | | | |
| RM4 | N41 | 1120 | 25 | 100 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | N67 | | 100 | 300 | 11 | 19 | 7 | 8 | 6 | 7 | |
| | N87 | | 100 | 500 | 16 | 24 | 8 | 9 | 7 | 8 | |
| | N49 | | 500 | 1000 | 15 | 21 | 10 | 15 | 9 | 13 | |
| D145 | N59 | 47/0 | 750 | 1500 | 30 | 44 | 22 | 31 | 18 | 27 | |
| RM5 | N41 N67 | 1740 | 25 100 | 100 300 | 6 18 | 7 31 | 2 12 | 2 13 | 2 10 | 2 11 | |
| | N87 | | 100 | 500 | 25 | 41 | 14 | 15 | 12 | 13 | |
| | N49 | | 500 | 1000 | 23 | 33 | 16 | 23 | 14 | 20 | |
| | N59 | | 750 | 1500 | 47 | 67 | 33 | 48 | 29 | 41 | |
| RM6 | N41 | 2970 | 25 | 100 | 9 | 14 | 5 | 5 | 4 | 4 | |
| Tavio | N67 | 2010 | 100 | 300 | 30 | 53 | 21 | 28 | 18 | 24 | |
| | N87 | | 100 | 500 | 42 | 85 | 29 | 33 | 25 | 29 | |
| | N49 | | 500 | 1000 | 39 | 56 | 28 | 40 | 24 | 34 | |
| | N59 | | 750 | 1500 | 80 | 115 | 57 | 81 | 49 | 70 | |
| RM7 | N41 | 4360 | 25 | 100 | 13 | 21 | 7 | 8 | 6 | 7 | |
| | N67 | | 100 | 300 | 42 | 74 | 30 | 42 | 25 | 36 | |
| | N87 | | 100 | 500 | 58 | 123 | 41 | 49 | 35 | 42 | |
| | N49 | | 500 | 1000 | 54 | 77 | 38 | 55 | 33 | 47 | |
| | N59 | | 750 | 1500 | 110 | 158 | 78 | 112 | 67 | 96 | |
| RM8 | N41 | 13100 | 25 | 100 | 19 | 33 | 12 | 13 | 10 | 11 | |
| | N67 | | 100 | 300 | 61 | 108 | 43 | 67 | 37 | 58 | |
| | N87 N49 | | 100 500 | 500 1000 | 85 79 | 195 113 | 60 56 | 81 80 | 52 48 | 70 69 | |
| | N49 N59 | | 750 | 1500 | 162 | 232 | 115 | 165 | 99 | 141 | |
| RM10 | N41 | 23600 | 25 | 100 | 34 | 64 | 22 | 26 | 19 | 22 | |
| INVI IU | N67 | 23000 | 100 | 300 | 107 | 190 | 76 | 128 | 65 | 110 | |
| | N87 | | 100 | 500 | 150 | 347 | 106 | 162 | 91 | 139 | |
| | N49 | | 500 | 1000 | 139 | 199 | 98 | 141 | 85 | 121 | |
| | N59 | | 750 | 1500 | 284 | 408 | 202 | 290 | 173 | 249 | |
| RM12 | N41 | 36400 | 25 | 100 | 49 | 102 | 35 | 45 | 30 | 39 | |
| | N67 | | 100 | 300 | 81 | 144 | 58 | 102 | 50 | 88 | |
| | N87 | | 100 | 500 | 220 | 508 | 156 | 282 | 134 | 243 | |
| | N49 | | 500 | 1000 | 203 | 292 | 144 | 207 | 124 | 178 | |
| | N59 | L | 750 | 1500 | 417 | 598 | 296 | 425 | 254 | 365 | |

Dalle indagini di mercato effettuate, il nucleo dalle caratteristiche più vicine alle esigenze di progetto, che risulta essere facilmente reperibile, è l'RM6, le cui caratteristiche sono state evidenziate in verde nella tabella 3-48. Nella tabella 3-49 si riportano le proprietà del materiale costituente il nucleo scelto.

| TABELLA 3-49 | | | | | | | |
|--|---|------------------------------|---|---------------------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| Material properties (continue | d) | | | | | | |
| Preferred application | | | Power tra | nsformers | | | |
| Material | | | N 67 | N 87 | N72 | N 41 | N 61 ⁵⁾ |
| Base material | Symbol | Unit | MinZn | MnZn | MnZn | MnZn | MnZn |
| Initial permeability (7=25°C) | μ | | 2100 ± 25% | 2200 ± 25% | 2500 ± 25% | 2800 ± 20% | 3000 ± 20% |
| Flux density (H= 1200 A/m,; = 10 kHz) | B(25°C) £ (100°C) | mT mT | 480 380 | 480 380 | 480 370 | 470 380 | 490 390 |
| Coercive field strength (. = 10 kHz) | F _c (25°C) F _c (100°C) | A/m | 20 14 | 16 9 | 15 11 | 20 22 | 17 18 |
| Optimum frequency range | min max | kHz kHz | 300 | <u></u> | 300 | 150 | — 150 |
| Hysteresis material constant | r _B | 10 ⁻⁶ /mT | < 1,4 | < 1,4 | _ | < 1,4 | _ |
| Curie temperature | T _C | ℃ | >220 | >210 | >210 | >220 | >220 |
| Mean value o _F at 20 55°C | | 1C ⁻⁶ /K | 4 | 4 | _ | 4 | _ |
| Density (typical values) | | kg/m:3 | 4800 | 4800 | 4800 | 4800 | 4850 |
| Relative core losses | F_V | | | | | | |
| 25 kHz, 200 mT, 100°C | | mW/g mW/an: ³ | 17 80 | | 16 80 | 35 180 | 32 165 |
| 100 kHz, 200 mT, 100°C | | mW/g mW/an:3 | 105 500 | 80 385 | 110 540 | 280 1400 | 220 1100 |
| 300 kHz, 50 mT, 100°C | | mW/g m/W/an:3 | 22 105 | 15 72 | | | |
| 500 kHz, 50 mT, 100°C | | mW/g mW/an;3 | | | | | |
| 1 MHz, 50 mT, 100°C | | mW/g m/W/cm: ³ | | | | | |
| Resistivity | ρ | Ωm | 8 | 8 | 12 | 2 | 2 |
| Core shapes | • | | RM, P, EP, ETD, ER, ED, EFD, E, U, Ring | RM, P, PM, ETD, EFD, E | E, EFD | RM, P | Ring, ≤R12,5 E, ≤E14 |

3. Il numero di spire al primario è dato dalla seguente relazione:

$$N_P = \frac{V_{CC \min - in} \cdot 10^8}{k \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A_l}$$

dove:

- $V_{CC \min in}$ è la tensione continua minima al primario espressa in Volt.
- k è un fattore di forma che nel caso in esame vale 4.
- f è la frequenza di lavoro espressa in Hz.
- ullet B_{\max} induzione magnetica massima espressa in Gauss.
- A_i area effettiva del nucleo ferromagnetico espressa in cm^2 .

Ricavato il numero di spire al primario, quello dei due secondari viene ricavato di conseguenza utilizzando le seguenti relazioni:

$$N_{S1} = N_P \cdot \frac{V_{S1}}{V_{CC \min - in}}$$

$$N_{S2} = N_P \cdot \frac{V_{S2}}{V_{CC \min - in}}$$

Per quello che concerne il calcolo delle spire al primario, bisogna ricavare alcuni parametri che non sono ancora noti. A_l viene determinato dalla tabella 3-50.

Magnetic characteristics (per set)

| | with center | without | |
|------------------|-------------|---------|------------------|
| | hole | center | |
| | | hole | |
| ΣΙ/Α | 0,86 | 0,78 | mm ⁻¹ |
| l _e | 26,9 | 28,6 | mm |
| A _e | 31,3 | 36,6 | mm ² |
| A _{min} | <u> </u> | 31 | mm ² |
| V _e | 840 | 1050 | mm ³ |

TABELLA 3-50

Approx. weight (per set)

| m | 4,9 | 5,3 | g |
|---|-----|-----|---|

Il valore di B_{\max} è ricavato imponendo un'induzione magnetica pari a circa la metà della B_{SAT} , questo perché è bene evitare di raggiungere il livello di saturazione, in quanto questo provoca una brusca caduta del valore dell'induttanza. Essendo $I = \frac{V \cdot t}{L}$ si avrà una conseguente salita della corrente che contribuisce ad aumentare l'intensità del campo magnetico, scatenando una reazione positiva con conseguenze disastrose.

Effettuando i calcoli:

$$N_P = \frac{V_{CC \text{ min}-in} \cdot 10^8}{k \cdot f \cdot B_{\text{max}} \cdot A_t} = \frac{22 \cdot 10^8}{4 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2100 \cdot 0.366} = 7.13 \approx 7$$

$$N_{S1} = N_P \cdot \frac{V_{S1}}{V_{CC \text{min-in}}} = 7 \cdot \frac{12}{22} = 3.8 \approx 4$$

$$N_{S2} = N_P \cdot \frac{V_{S2}}{V_{CC \text{ min}-in}} = 7 \cdot \frac{96}{22} = 30.6 \approx 31$$

4. Il diametro dei conduttori si determina in funzione della I_{max} , utilizzando la "regola della sezione aurea"

$$\Phi = 0.7 \cdot \sqrt{I_{\text{max}}}$$

Questa regola impone che nel conduttore non venga superato il limite di una densità di corrente pari a $3\frac{A}{mm^2}$.

Per il calcolo del diametro dei conduttori al primario, si deve valutare la corrente massima che circola nel suddetto avvolgimento. Ipotizzando per la macchina in questione un rendimento dell'80% risulta:

$$I_P = 1.25 \cdot \frac{P_{out}}{V_{in}} \Longrightarrow I_P = 1.25 \cdot \frac{0.7}{22} \cong 0.040A$$

Al primario quindi risulta:

$$\Phi_1 = 0.7 \cdot \sqrt{I_{\text{max}}} = 0.7 \cdot \sqrt{0.04} = 0.14 mm$$

Al secondario si ha che, per l'avvolgimento dedicato al carico Switch RF1, la corrente massima è data da:

$$I_{S1Max} = \frac{P_{OUT}}{V_{out1}} \Rightarrow I_{S1Max} = \frac{0.7}{96} = 0.007A$$

Quindi per l'avvolgimento riferito al carico Switch RF1 si ha:

$$\Phi_{S1} = 0.7 \cdot \sqrt{I_{\text{max}}} = 0.7 \cdot \sqrt{0.007} \cong 0.06mm$$

Per l'avvolgimento dedicato alla tensione di feedback si ha:

$$I_{S2Max} = \frac{P_{OUT}}{V_{out2}} \Rightarrow I_{S1Max} = \frac{0.7}{12} = 0.006A$$

Quindi per l'avvolgimento riferito alla tensione di feedback si ha:

$$\Phi_{s2} = 0.7 \cdot \sqrt{I_{\text{max}}} = 0.7 \cdot \sqrt{0.006} = 0.06mm$$

Effettuata una ricerca sulle dimensioni disponibili in commercio è bene scegliere un diametro di 0.2mm per tutti gli avvolgimenti.

5. Ricavati tutti il parametri necessari al progetto del trasformatore, non resta che effettuare una verifica dei dati. Infatti, potrebbe capitare che il nucleo scelto non abbia spazio sufficiente a contenere il numero di spire totale di cui il trasformatore necessita. Per poter effettuare la suddetta verifica, è necessario introdurre un altro componente del trasformatore, il coil former, cioè il contenitore degli avvolgimenti. Una volta selezionato il tipo di nucleo, core, è stata, di conseguenza, definita anche la forma del coil former. L'unico parametro che resta da definire è il numero di pin che il componente deve avere. Dato che si hanno un primario e due secondari, occorreranno un coil former a sei pin. Nella figura 3-95 si riportano le caratteristiche fisiche del coil former.

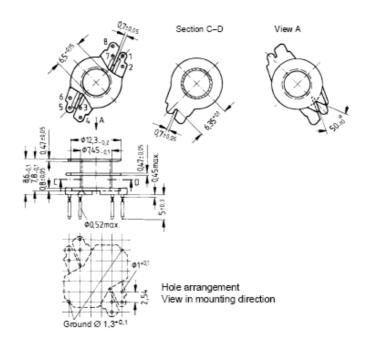
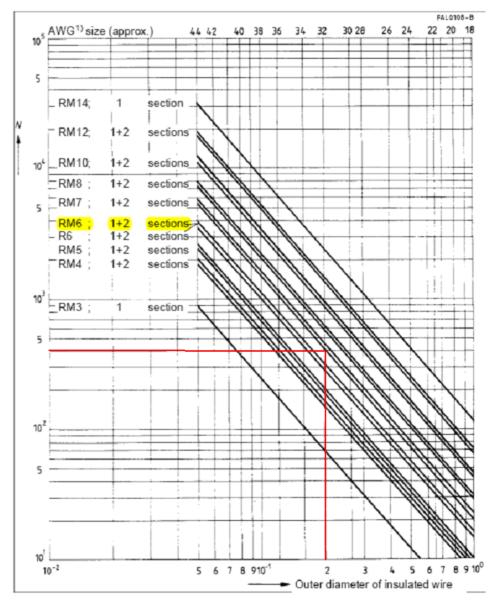


figura 3-95

Scelto il coil former, si passa a valutare se quest'ultimo riesce a contenere il numero di spire necessario al trasformatore. Dal diagramma di figura 3-96 si vede che, avendo dovuto scegliere per tutti e tre gli avvolgimenti un diametro pari a 0.2mm, il coil former selezionato può contenere fino a circa 400 spire, per quel diametro di conduttore, pertanto questa verifica risulta positiva.



RM cores
Maximum number of turns N for coil formers

1) American Wire Gauge (AWG)

Siemens Matsushita Components

figura 3-96

L'ultimo controllo da fare riguarda l'induzione di saturazione. E', infatti, importante che le condizioni di lavoro siano tali da non causare la saturazione del nucleo. Stimando l'induzione magnetica si ha che:

$$B_{\text{max}} = \frac{V_{CC \text{ max} - in} \cdot 10^8}{k \cdot f \cdot N_1 \cdot A_l} = \frac{26 \cdot 10^8}{4 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 7 \cdot 0.366} = 2537G = 253mT$$

Valore che risulta più basso di almeno il 35% della induzione massima di saturazione.

Terminato il progetto del trasformatore, si possono ricavare tutti i parametri necessari al simulatore Webench per realizzare la simulazione.

I primi valori da determinare sono i due rapporti spire tra primario e secondario:

$$\frac{N_{S1}}{N_P} = 0.57$$
 e $\frac{N_{S3}}{N_P} = 4.428$

Segue l'induttanza di magnetizzazione L_p :

$$L_P = A_L \cdot N_P^2 \Rightarrow L_P = 2400 \cdot 10^{-9} \cdot 7^2 = 117.6 \mu H$$

dove A_L è l'inductance factor ricavato dalla figura 3-97.

RM 6 Core

Ungapped

| Mate- | A _L value | μ _e | A _{L1min} | P _V | Ordering code | PU |
|-------|----------------------|----------------|--------------------|--------------------------|---------------------|------|
| rial | | | | | -C with center hole | |
| | nH | | nΗ | W/set | -J w/o center hole | Sets |
| K1 | 120+30/-20% | 82 | | | B65807-C-R1 | 500 |
| N26 | 2200+30/-20% | 1500 | | | B65807-C-R26 | |
| N30 | 4300+30/-20% | 2670 | | | B65807-J-R30 | |
| T35 | 6200+30/-20% | 3850 | | | B65807-J-R35 |] |
| T38 | 8600+40/-30% | 5340 | | | B65807-J-Y38 |] |
| T42 | 12300+40/-30% | 7630 | | | B65807-J-Y42 |] |
| N47 | 1800+30/-20% | 1120 | 1150 | 0,15 | B65807-J-R47 | |
| | | | | (50 mT, 500 kHz, 25°C) | | |
| N67 | 2400+30/-20% | 1490 | 1450 | 0,64 | B65807-J-R67 |] |
| | | | | (200 mT, 100 kHz, 100°C) | | |
| N87 | 2400+30/-20% | 1490 | 1450 | 0,51 | B65807-J-R87 | |
| | | | | (200 mT, 100 kHz, 100°C) | | |
| N41 | 3100+30/-20% | 1920 | 1450 | 0,16 | B65807-J-R41 | |
| | | | | (200 mT, 25 kHz, 100°C) | | |

figura 3-97

Inserendo tutti i parametri nel circuito riportato in figura 3-92, può avere inizio la simulazione. Focalizzando l'attenzione sulla schermata che riporta il circuito, si nota, in alto a sinistra, il comando Control Panel (fig. 3-98).

Control Panel

figura 3**-**98

Cliccandolo si accede ad un menù di comandi che permette di effettuare diverse analisi (fig. 3-99).



figura 3-99

L'analisi che interessa effettuare è la Steady State. Selezionando la suddetta analisi nel menù "Setup Analysis" si avvia il calcolo cliccando su GO. Quando il calcolatore ha terminato l'elaborazione, accanto alla dicitura Status, scrive "Ready". A questo punto, movendosi col cursore sul circuito, si possono conoscere i valori di tensione e corrente nei punti rilevanti del circuito. Si riportano, di seguito, i risultati della simulazione.

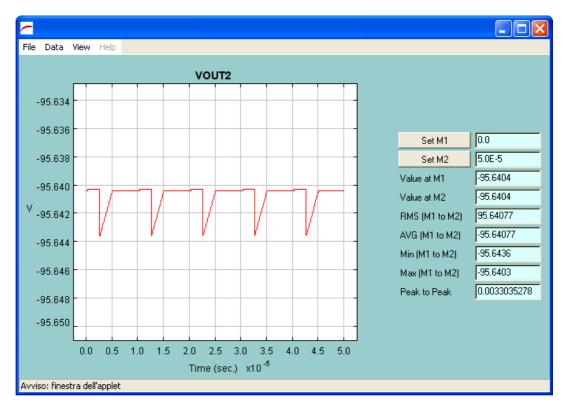


figura 3-100

Tensione di Feedback, figura 3-101.

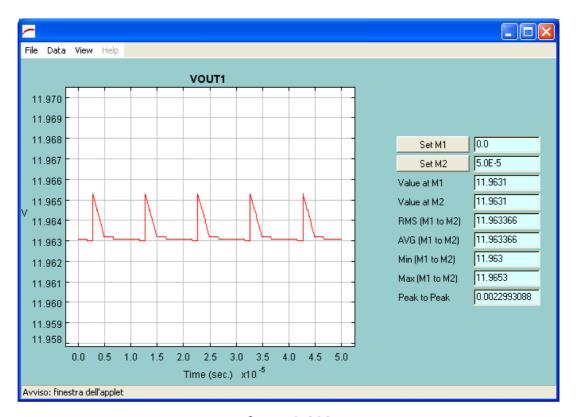


figura 3-101

Al pin Compensation deve esserci una tensione, suggerita sul datasheet del componente, di 1V (fig. 3-102).

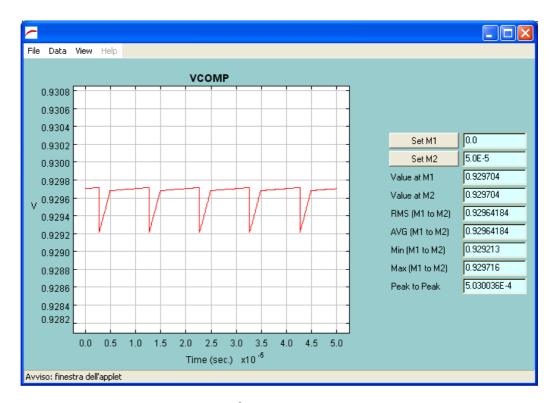


figura 3-102

I diodi Schottky fungono da raddrizzatori ed i condensatori C_{out1} e C_{out2} da filtro. I valori dei condensatori sono stati scelti con l'ausilio del simulatore in modo da ottenere dei risultati ottimali.

I valori operativi sono (fig. 3-103):

| Operating Values | | |
|--|-----------|------------|
| #Description | Paramete | rValue |
| 1 Pulse Width Modulation (PWM) frequency | Frequency | 100 kHz |
| Continuous or Discontinuous Conduction mode, 2 inductor current goes to zero in Discontinuous Conduction | Mode | Discont |
| 3 Total Output Power | Pout | 1.1 W |
| 4 Vin operating point | Vin Op | 24.00 V |
| 5 Iout operating point | Iout Op | 0.01 A |

figura 3-103

Operating point (fig.3-104):

| C | Operating Point at Vin= 24.00 V,0.01 A | | | | | |
|---|---|-------------|--------------|--|--|--|
| # | Description | Parameter | Value | | | |
| 1 | panawiath of Supply | Cross Freq | 233 Hz | | | |
| 2 | Steady State PWM Duty Cycle, range limits from 0 to 100 | Duty Cycle | 21.7 % | | | |
| 3 | Steady State Efficiency | Efficiency | 58.9 % | | | |
| 4 | IC Junction Temperature | IC Tj | 49.8 øC | | | |
| 5 | Ambient Temperature | TA | 30.0°C | | | |
| 6 | IC Junction to Ambient Thermal Resistance | IICT hotal/ | 34.9 øC/W | | | |
| 7 | Bode Plot Phase Margin | Phase Marg | 29.6 Deg | | | |
| 8 | Peak-to-peak ripple voltage on Output number 1 | Vout1 p-p | 0.10 V | | | |
| 9 | Peak-to-peak ripple voltage on Output number 2 | Vout2 p-p | 0.96 V | | | |

figura 3**-**104

Analisi della corrente (fig. 3-105):

| Current Analysis | | |
|---|------------|---------|
| #Description | Parameter | Value |
| 1 Peak Current in IC for Steady State Operating Point | IC Ipk | 0.48 A |
| 2 ICs Maximum rated peak current | IC Ipk Max | 3.0 A |
| 3 Average input current | Iin Avg | 0.076 A |
| 4 Inductor ripple current, peak-to-peak value | L Ipp | 0.48 A |

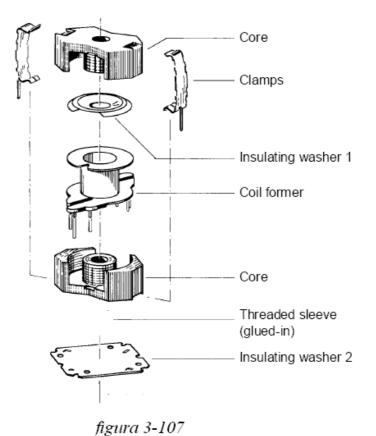
figura 3-105

Analisi della dissipazione di potenza (fig. 3-106):

| Р | Power Dissipation Analysis | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------|-----------|--|--|--|
| # | Description | Parameter | Value | | | |
| 1 | Input Capacitor Power Dissipation | Cin Pd | 0.00689 W | | | |
| 2 | Diode1 power dissipation | Diode1 Pd | 0.005 W | | | |
| 3 | IC Power Dissipation | IC Pd | 0.57 W | | | |
| 4 | Transformer Power Dissipation | Xformer Pd | 0.042 W | | | |
| 5 | Zener Diode Power Dissipation | Zener Pd | 0.12 W | | | |

figura 3**-**106

A questo punto, verificata con il simulatore la correttezza dei risultati del progetto del circuito fly-back, si deve valutare il necessario per la realizzazione dello stesso. Nella figura 3-107 è riportato un esempio di assemblaggio di un trasformatore con le caratteristiche del progetto.



3-138

La lista dei componenti necessari alla realizzazione dell'alimentazione del carico Switch RF1 è riportata nella tabella 3-51:

| | TABELLA 3-51 | | | | |
|--------|---------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| | Lista | componenti | | | |
| Numero | Codice Articolo | Tipologia | | | |
| 1 | LM2585-12 | regolatore | | | |
| 2 | 560 μF | condensatore | | | |
| 1 | 1.5 μF | condensatore | | | |
| 1 | 22 μF | condensatore | | | |
| 1 | 680 Ω | resistore | | | |
| 1 | SA60A | Diodo | | | |
| 1 | SS24 | Diodo Schottky | | | |
| 1 | MURS160T3 | Diodo Schottky | | | |
| 1 | RM6 N87 EPCOS | Core | | | |
| 1 | RM6 EPCOS | Coil former | | | |
| 1 | 0.2 mm ² | Conduttore in rame con isolamento | | | |
| 2 | Clamps RM6 | Clamps | | | |

Si passi, ora, alla realizzazione del circuito stampato. Per prima cosa si riproduca l'intero circuito con Orcad Capture 15.7 (fig. 3-108).

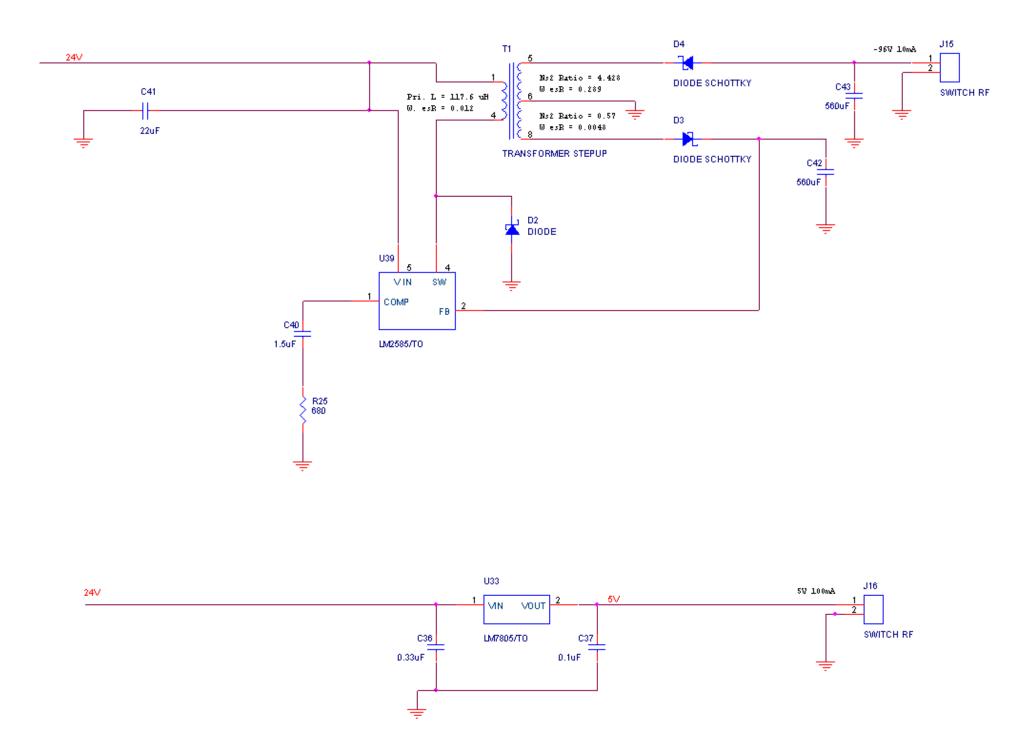
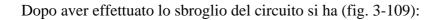


figura 3**-**108



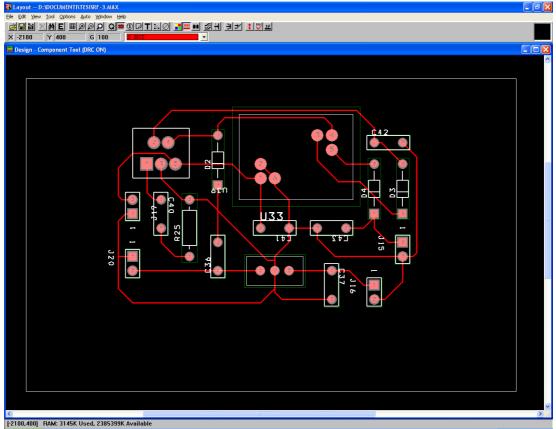
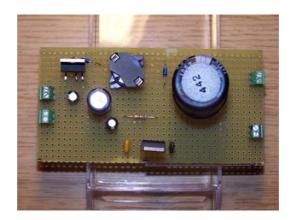


figura 3-109

Il circuito assemblato è riportato nella figura 3-110:



CAPITOLO 4 PROGETTO FIRMWARE

4.1 Diagramma a Blocchi del Firmware di Controllo

Nel capitolo 1 è stato sviluppato un lavoro di analisi della macchina di controllo che ha permesso di individuare le azioni da implementare nel firmware. In questa sede si procederà con lo sviluppo specifico delle varie funzioni che sono solo state descritte, precedentemente. Il lavoro di programmazione seguirà, a questo punto, due fasi fondamentali: la definizione dei diagrammi di flusso del programma principale e quella di tutti i sottoprogrammi componenti il firmware; e la codifica.

Programma principale

Il programma principale gestisce l'attivazione di tutti i sottoprogrammi del firmware. In particolare, esso dovrà essere in grado di riconoscere i segnali di accensione e spegnimento radar, effettuare il controllo automatico dei carichi, assolvere, in qualsiasi momento, le richieste che un operatore invia da terra ed aggiornare lo stesso operatore su tutti i comandi di intervento automatici, inviando a terra segnalazioni in proposito. Si riporta, di seguito, il diagramma di flusso del programma principale (fig. 4-1).

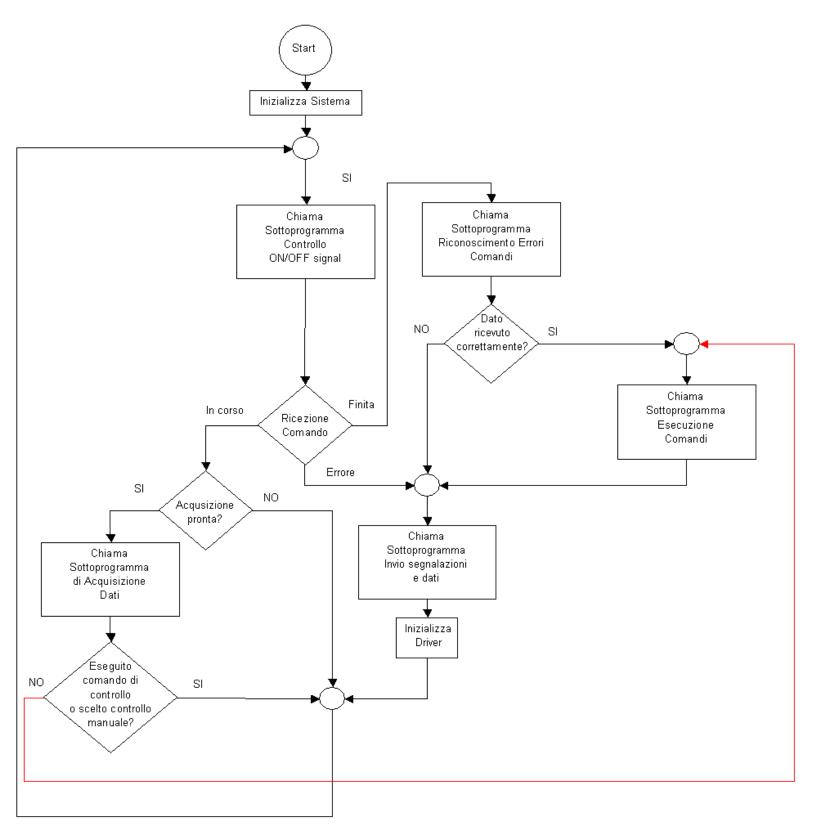


figura 4-1

Sottoprogramma Esecuzione Comandi

Il sottoprogramma "esecuzione comandi" invia le istruzioni al microcontrollore per eseguire il comando ricevuto. Il codice del comando verrà salvato in un registro e, in funzione suo valore, saranno eseguite le istruzioni opportune. I comandi sono riportati nella tabella 4-1.

| | TABELLA 4-1 | | | | | |
|-----------|----------------|--|--|--|--|--|
| Comando | Codice Comando | Descrizione | | | | |
| DU_ON | 0x41 | Relè Digital Unit on | | | | |
| FGU_ON | 0x42 | Relè FGU on | | | | |
| SWRF_ON | 0x43 | Relè Switch RF on | | | | |
| RxTx_ON | 0x44 | Relè RxTx on | | | | |
| CGU_ON | 0x45 | Relè CGU on | | | | |
| PC_ON | 0x46 | Relè PC on | | | | |
| RF_ON | 0x47 | Relè Amplificatore RF on | | | | |
| SPARE_ON | 0x48 | Relè SPARE on | | | | |
| DU_OFF | 0x49 | Relè Digital Unit off | | | | |
| FGU_OFF | 0x4A | Relè FGU off | | | | |
| SWRF_OFF | 0x4B | Relè Switch RF off | | | | |
| RxTx_OFF | 0x4C | Relè RxTx off | | | | |
| CGU_OFF | 0x4D | Relè CGU off | | | | |
| PC_OFF | 0x4E | Relè PC off | | | | |
| RF_OFF | 0x4F | Relè Amplificatore RF off | | | | |
| SPARE_OFF | 0x50 | Relè SPARE off | | | | |
| START_SAR | 0x53 | Tutti i relè on, tranne SPARE | | | | |
| STOP_SAR | 0x54 | Relè Switch, RxTx, Amplificatore RF, CGU off | | | | |
| TELEM_REQ | 0x55 | Richiesta telemetria di bordo | | | | |
| AUTO_ON | 0x51 | Abilita controllo automatico | | | | |
| AUTO_OFF | 0x52 | Esclude controllo automatico | | | | |

Per poter definire la funzione di comando è importante analizzare in funzionamento del driver dei relè a stato solido, in modo da poter implementare correttamente il diagramma di flusso impartendo le istruzioni necessarie. Il driver scelto è 74HCT541, octal buffer/line driver 3-state. Nella figura 4-2 è riportato il diagramma funzionale del componente:

Functional diagram.

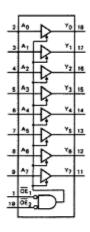


figura 4-2

La tabella di verità è riportata nella figura 4-3:

FUNCTION TABLE

| | OUTPUT | | |
|-----------------|-----------------|----|----|
| ŌE ₁ | OE ₂ | An | Yn |
| L | L | L | L |
| L | L | Н | Н |
| X | Н | X | Z |
| Н | Χ | Х | Z |

Notes

H = HIGH voltage level

L = LOW voltage level

X = don't care

Z = high impedance OFF-state

figura 4-3

I tempi di propagazione del ritardo sono riportati nella figura 4-4:

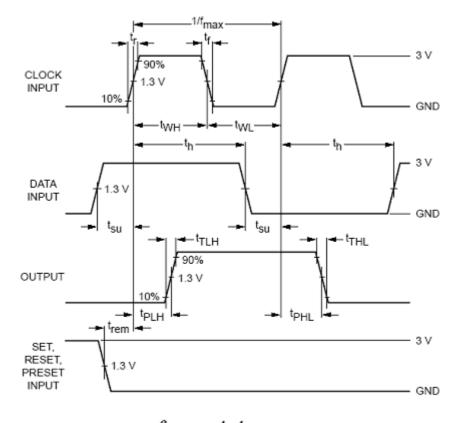


figura 4**-**4

Il diagramma di flusso è riportato nella figura 4-5.

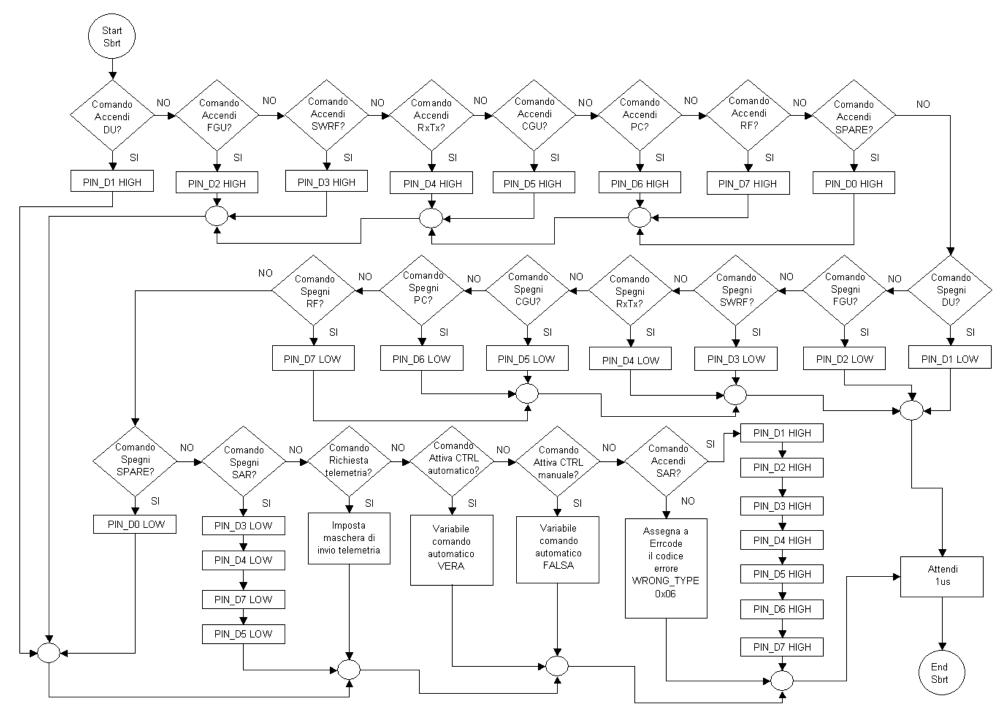


figura 4-5

Sottoprogramma di Acquisizione

Le funzioni del sottoprogramma di acquisizione sono: prelevare il risultato dell'acquisizione dal convertitore analogico digitale e salvarlo in memoria. Prima di iniziare l'acquisizione, il programma valuterà se il carico riferito al canale in esame è attivo oppure no. In caso negativo, non acquisirà su quel canale e passerà a valutare lo stato del canale successivo. In caso di attivazione, acquisirà il dato campionato e, dopo aver acquisito quattro volte il segnale sullo stesso canale ne effettuerà la media per rendere più preciso il risultato. Una volta valutata la media è possibile eseguire un controllo sul valore della stessa in modo da valutare se disattivare o meno il carico esaminato a seguito di valori non compresi nel range, dettato dalle specifiche. Il sottoprogramma di acquisizione è stato suddiviso in tre parti:

- 1. AcquireTask che si occupa di effettuare il controllo sullo stato di attivazione del carico e di effettuare la media e gestire le altre funzioni di controllo e acquisizione.
- 2. Adc_ControlTask che effettua il controllo dei dati e genera i comandi di protezione.
- 3. Sottoprogrammi di acquisizione dati, che si occupano di acquisire il dato, impostando tutti i parametri necessari al convertitore analogico digitale.

Per poter valutare le istruzioni da eseguire, soprattutto per sviluppare la funzione di acquisizione dati, è necessario analizzare il funzionamento del convertitore MCP3208, di cui, le caratteristiche generali, sono state descritte nel capitolo 3.

La tabella 4-2 descrive la funzione dei pin.

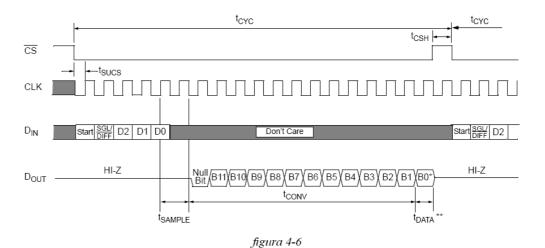
| TABELLA 4-2 | | | | | |
|-------------|------------------|----------------------------|--|--|--|
| MCP3208 | | | | | |
| PDIP, SOIC | Symbol | Definition | | | |
| 1 | CH0 | Analog Input | | | |
| 2 | CH1 | Analog Input | | | |
| 3 | CH2 | Analog Input | | | |
| 4 | CH3 | Analog Input | | | |
| 5 | CH4 | Analog Input | | | |
| 6 | CH5 | Analog Input | | | |
| 7 | CH6 | Analog Input | | | |
| 8 | CH7 | Analog Input | | | |
| 9 | DGND | Digital Ground | | | |
| 10 | CS/SHDN | Chip Select/Shutdown Input | | | |
| 11 | D _{IN} | Serial Data In | | | |
| 12 | D _{OUT} | Serial Data Out | | | |
| 13 | CLK | Serial Clock | | | |
| 14 | AGND | Analog Ground | | | |
| 15 | V _{REF} | Reference Voltage Input | | | |
| 16 | V _{DD} | +2.7V to 5.5V Power Supply | | | |
| _ | NC | No Connection | | | |

Di seguito sono descritte le funzioni di ciascun pin.

- 1. V_{DD}, Power Supply.
- 2. DGND, massa digitale per la circuiteria digitale interna.
- 3. AGND, massa analogica per la circuiteria analogica interna.
- 4. V_{ref} , tensione di riferimento.
- 5. CH0-CH7, canali analogici di ingresso.

- 6. $\overline{CS}/SHDN$, chip select e shutdown, usato per avviare la comunicazione tra convertitore ed esterno quando è basso e terminare una conversione e mettere in stand-by il dispositivo quando è alto.
- 7. CLK, clock seriale, usato per iniziare una conversione e restituire il risultato della stessa.
- 8. D_{IN}, data input seriale, usato per caricare nel convertitore la configurazione del canale scelto.
- 9. D_{OUT}, data output seriale, usato per prelevare il risultato dell'acquisizione.

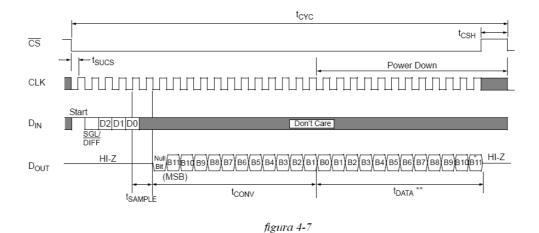
Per quello che riguarda gli ingressi analogici, il convertitore MCP3208, offre la possibilità di scegliere tra configurazione "sigle ended" o la "pseudo-differential". E' importante, a questo punto, analizzare il funzionamento della comunicazione seriale, in modo da poter prelevare i dati dell'acquisizione dal converitore. Il componente MCP3208 utilizza un 'interfaccia seriale SPI-compatibile. La figura 4-6 riassume il protocollo di comunicazione.



La prima operazione da fare è portare la linea \overline{CS} a livello logico 0 (LL0), se quest'ultima fosse a LL0 si dovrà prima portarla a livello logico 1 (LL1) e successivamente riportarla a LL0. Il primo clock ricevuto, con \overline{CS} basso e D_{IN} alto, costituisce lo "start bit". Il bit che segue è il SGL/\overline{DIFF} , che indica la configurazione nella modalità di funzionamento "sigle-ended" o "differential". I tre bit successivi identificano la scelta del canale, la codifica scelta del canale è riassunta nella tabella 4-3.

| TABELLA 4-3 | | | | | | |
|------------------------------------|----|-------|---------|---------------|------------------------|--|
| CONFIGURATION BITS FOR THE MCP3208 | | | | | | |
| Control Bit Selections | | Input | Channel | | | |
| S <u>ingl</u> e /Diff | D2 | D1 | D0 | Configuration | Selection | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | single-ended | CH0 | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | single-ended | CH1 | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | single-ended | CH2 | |
| 1 | 0 | 1 | 1 | single-ended | CH3 | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | single-ended | CH4 | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | single-ended | CH5 | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | single-ended | CH6 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | single-ended | CH7 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | differential | CH0 = IN+ CH1 = IN- | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | differential | CH0 = IN- CH1 = IN+ | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | differential | CH2 = IN+ CH3 = IN- | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | differential | CH2 = IN- CH3 = IN+ | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | differential | CH4 = IN+ CH5 = IN- | |
| 0 | 1 | 0 | 1 | differential | CH4 = IN- CH5 = IN+ | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | differential | CH6 = IN+ CH7 = IN- | |
| 0 | 1 | 1 | 1 | differential | CH6 = IN- CH7 = IN+ | |

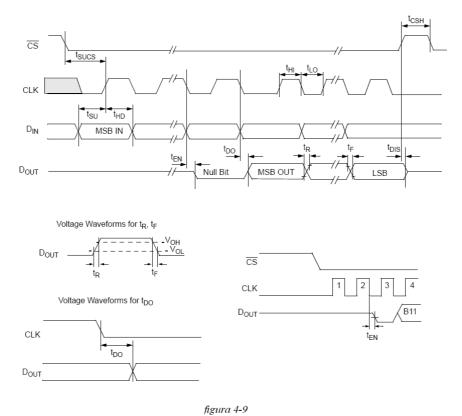
Dopo il bit D0 bisogna attendere la fine del periodo di sample and hold, segnato da un clock, successivamente, sulla linea D_{OUT} , ci sarà un "Null bit" basso e quindi i successivi dodici istanti di clock scandiranno il risultato della conversione analogico digitale, partendo dal bit più significativo, come si vede nella figura 4-6. Dopo il bit meno significativo, LSB, il \overline{CS} deve alzarsi, se così non fosse, D_{OUT} continuerà a restituire i risultati della conversione, partendo dal bit meno significativo (fig. 4-7).



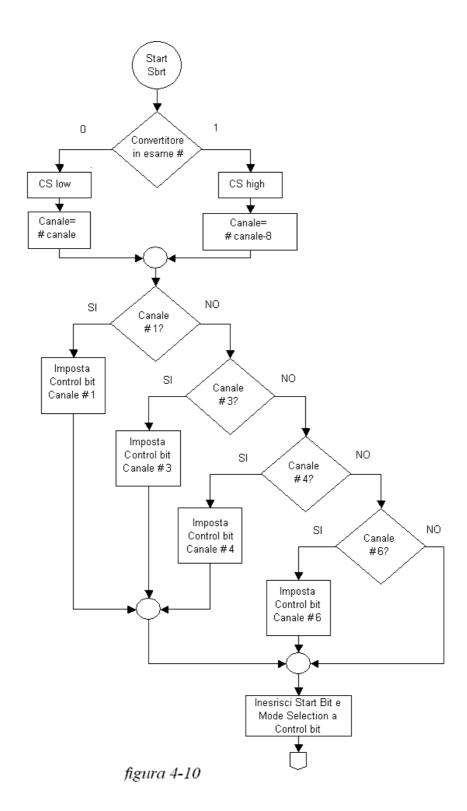
Fattore fondamentale, per la riuscita della comunicazione seriale, è rispettare la minima velocità di clock. Infatti, quando si avvia il periodo di sample, la carica viene immagazzinata nel condensatore di sample. Quando il periodo di sample è terminato, il convertitore salva il risultato in un registro interno dopo aver ricevuto il clock. Una frequenza troppo lenta, potrebbe far perdere carica al condensatore di sample che riuscirà a conservarla per 1.2ms, che corrisponde ad una frequenza di clock effettiva di 10kHz. Non rispettare questa condizione potrebbe introdurre un errore di linearità nei risultati della conversione. Nelle figure 4-8 e 4-9, sono riportati tutti i parametri di temporizzazione.

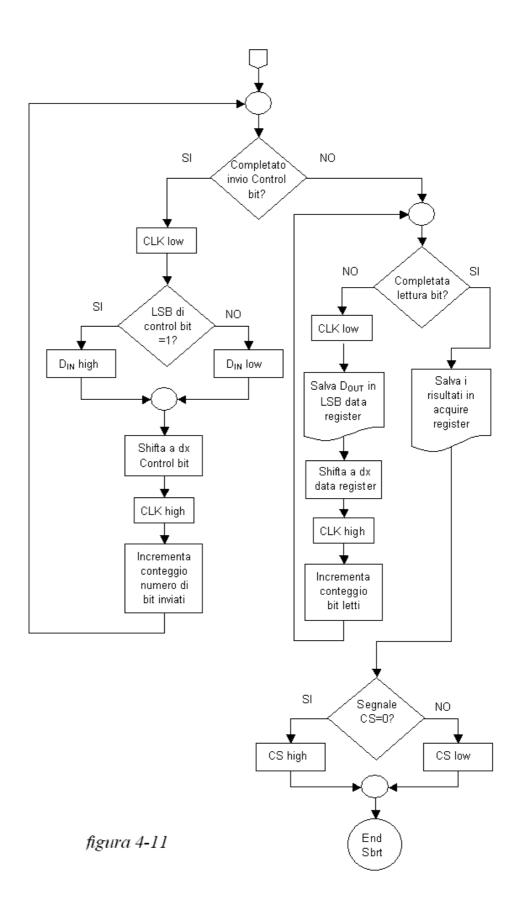
| Parameters | Sym | Min | Тур | Max | Units | | |
|-------------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-------|--|--|
| Timing Parameters | Timing Parameters | | | | | | |
| Clock Frequency | f _{CLK} | _ | _ | 2.0 | MHz | | |
| | | _ | _ | 1.0 | MHz | | |
| Clock High Time | t _{HI} | 250 | _ | _ | ns | | |
| Clock Low Time | t_{LO} | 250 | _ | _ | ns | | |
| CS Fall To First Rising CLK | t _{sucs} | 100 | _ | _ | ns | | |
| Edge | | | | | | | |
| Data Input Setup Time | t _{SU} | 50 | | _ | ns | | |
| Data Input Hold Time | t _{HD} | 50 | _ | _ | ns | | |
| CLK Fall To Output Data Valid | t _{DO} | _ | _ | 200 | ns | | |
| CLK Fall To Output Enable | t _{EN} | _ | _ | 200 | ns | | |
| CS Rise To Output Disable | t _{DIS} | _ | _ | 100 | ns | | |
| CS Disable Time | t _{CSH} | 500 | _ | _ | ns | | |
| D _{OUT} Rise Time | t _R | _ | | 100 | ns | | |
| D _{OUT} Fall Time | t _F | _ | _ | 100 | ns | | |

figura 4**-**8



Si hanno, ora, tutti gli elementi per poter realizzare il diagramma a blocchi del sottoprogramma di acquisizione dati (fig.4-10 e 4-11).





Il flow chart del sottoprogramma Adc_ControlTask è (fig. 4-12, fig. 4-13 e fig.4-14):

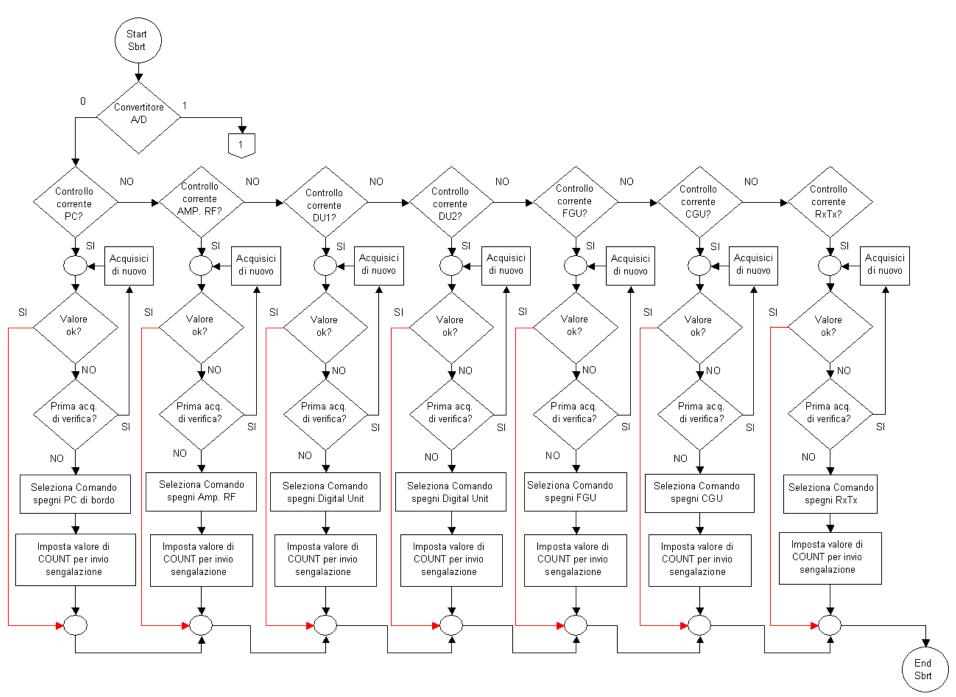


figura 4-12

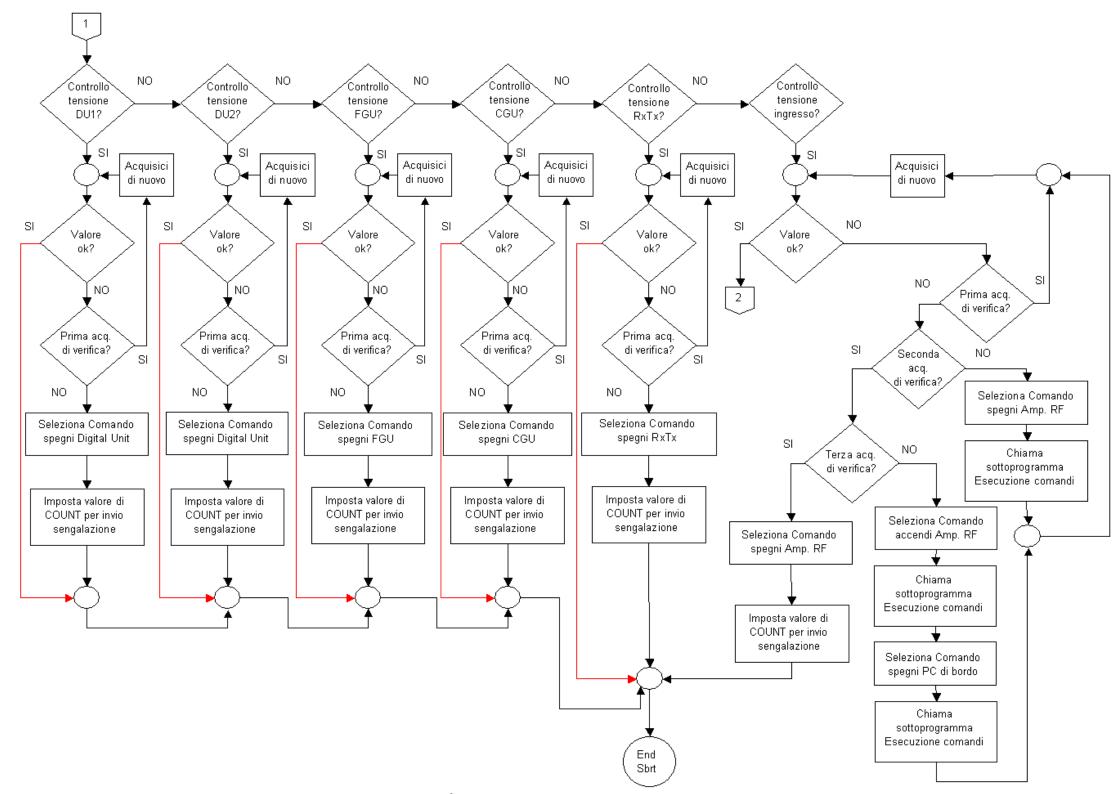


figura 4**-**13

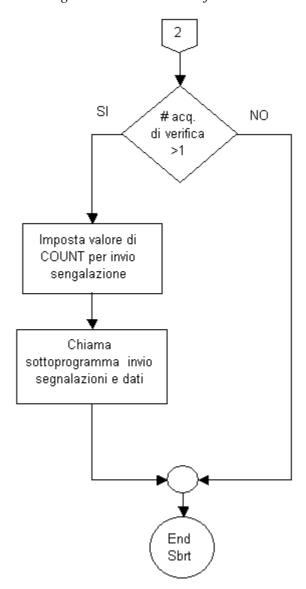
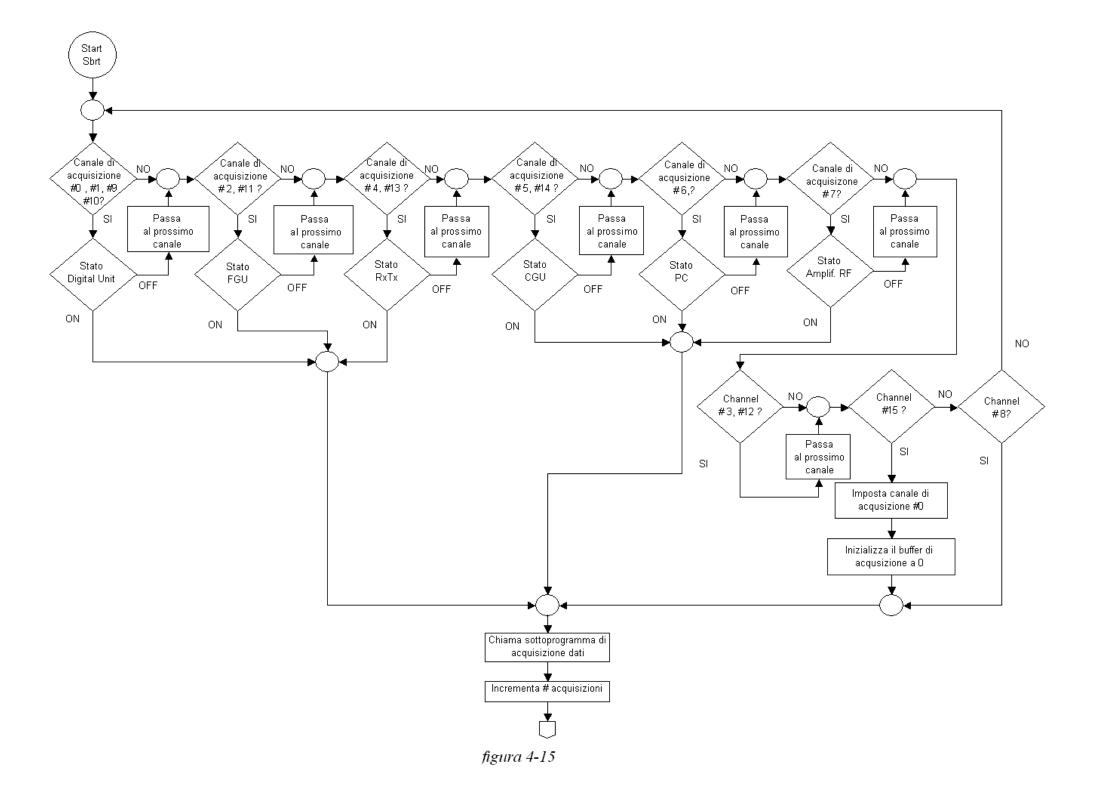


figura 4**-**14

Il flow chart della funzione AdcAcquire Task è riportato nelle figure 4-15



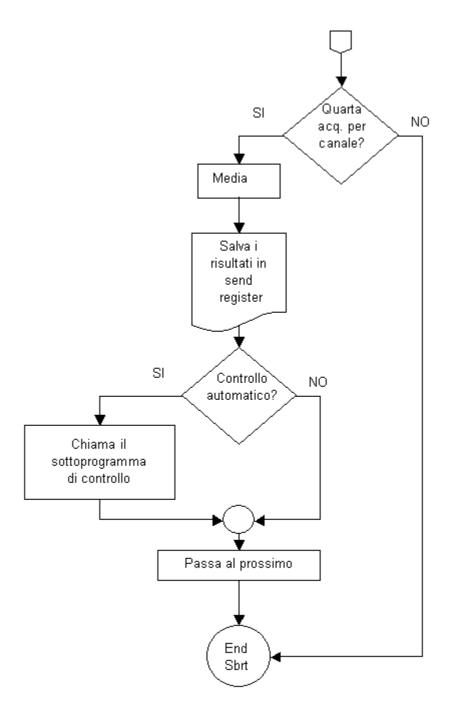


figura 4**-**16

Sottoprogramma di Riconoscimento Errori Comandi

Il Sottoprogramma di "riconoscimento errori comandi" valuta la correttezza del dato ricevuto.. Effettuerà un controllo su: errori generati dalla comunicazione RS232, sul numero di bit ricevuti, sui valori di HEADER, COUNT, ENDP e sul BCC. Infatti, adoperando il BCC code, stabilirà se il dato ricevuto è formalmente corretto, in caso contrario segnalerà errore. Nella tabella 4-4 sono riportati i tipi di errore ed i rispettivi codici.

| TABELLA 4-4 | | | | | |
|----------------------|--------------------------|------------------------------------|--|--|--|
| Errori | Errori e relativi codici | | | | |
| Errore | Codice | Descrizione | | | |
| NO_ERROR | 0x00 | Nessun errore | | | |
| | | Errore di overrun, si verifica | | | |
| ERR_CODE_OERR | 0x01 | se arriva un byte quando il buffer | | | |
| | | non è stato ancora svuotato | | | |
| ERR CODE FERR | 0x02 | Errore di framing, si verifica | | | |
| ERK_CODE_FERK | | se il bit di stop è clear. | | | |
| ERR_CODE_WRONG_HDR | 0x03 | HEADER errato | | | |
| ERR_CODE_WRONG_BCC | 0x04 | Codice BCC errato | | | |
| ERR_CODE_TIMEOUT | 0x05 | Timeout tra due bit scaduto | | | |
| ERR_CODE_WRONG_TYPE | 0x06 | Comando non riconosciuto | | | |
| ERR_CODE_ WRONG_ENDP | 0x07 | ENDP errato | | | |
| ERR_CODE_ WRONG_CNT | 0x08 | COUNT errato | | | |
| ERR_CODE_ WRONG_LEN | 0x09 | Lunghezza buffer errata | | | |
| ERR_FLAG | 0x10 | Flag di errore | | | |

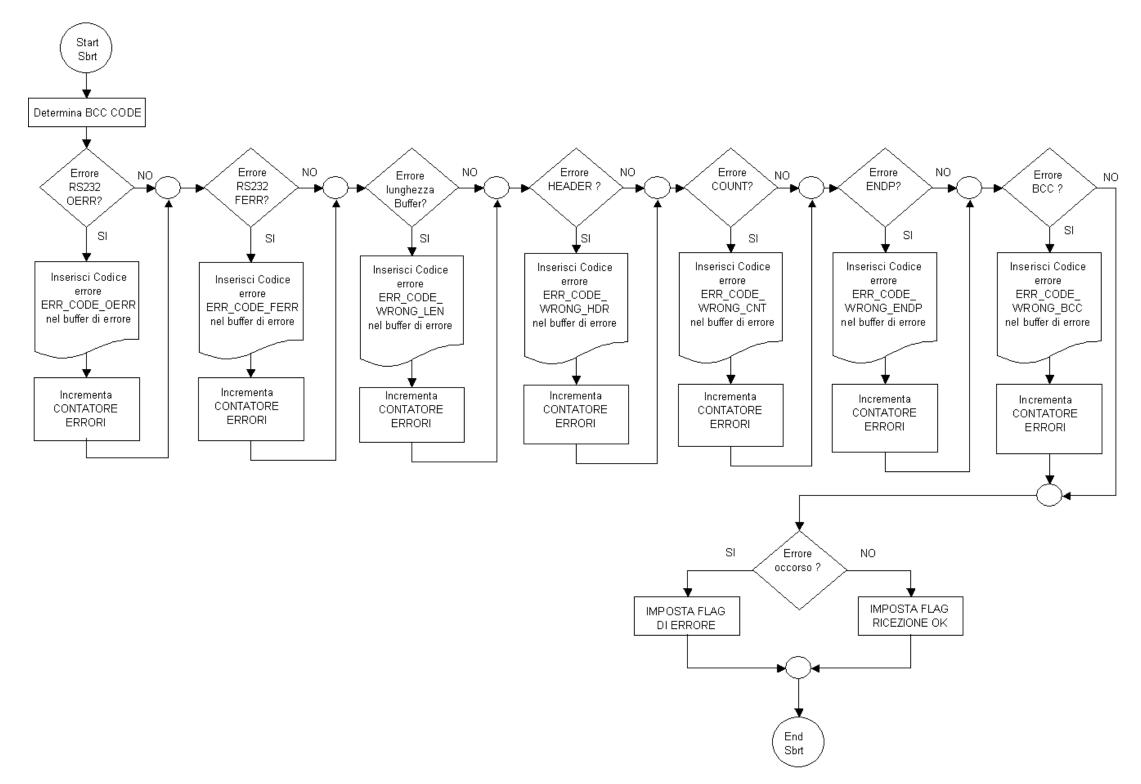


figura 4-17

CAPITOLO 4

Diagramma a blocchi del firmware di controllo

Sottoprogramma invio segnalazioni e dati

Questo sottoprogramma esegue l'invio dei dati sulla telemetria di bordo, invia le segnalazioni di errore e di comando effettuato. In pratica ogni qual volta il microcontrollore esegue una operazione, sia a seguito di un comando ricevuto che a seguito di elaborazioni del controllo automatico, invia la segnalazione dell'operazione effettuata al PC di controllo a terra. I pacchetti di informazione scambiati tra il PC di controllo ed il microcontrollore hanno la seguente forma:

HEADER→COUNT→COMANDO+DATI→ENDP→BCC

Mentre, per i pacchetti di informazione tra microcontrollore e PC di controllo si ha:

 $HEADER \rightarrow COUNT \rightarrow ACKCOMANDO + DATI \rightarrow ENDP \rightarrow BCC$

I bytes HEADER ed ENDP avranno dei valori che determinano rispettivamente l'inizio e la fine della trasmissione del pacchetto e non sono mai modificati.

HEADER ha valore di default 0x02.

ENDP ha valore di default 0x03.

COUNT indica la lunghezza del campo COMANDO+DATI o ACKCOMANDO, che, nel caso di un comando di Switch on oppure off, sarà pari a 0x01, mentre, nel caso di richiesta di telemetria, avrà valore pari al numero di byte dei dati contenenti l'informazione moltiplicato per i quindici canali del convertitore, più un byte per l'aknowledge. Quindi risulterà che COUNT avrà almeno valore 0x01.

I codici dei comandi sono stati riportati in precedenza nella tabella 4-1, per quanto riguarda l'ackowledge è stato deciso di sommare al codice già stabilito il valore

0x80. Il byte BCC è calcolato secondo il seguente algoritmo: ogni byte utile ricevuto si somma al precedente (somma modulo 255), al termine dei byte utili ricevuti si esegue la not della somma e si aggiunge 1, il risultato è il BCC.

Non vengono considerati utili, ai fini del calcolo del BCC, i seguenti byte: Header, ENDP, BCC. Pertanto il BCC verrà calcolato sui byte: COUNT COMANDO DATI. I codici di errore sono stati già riportati nella tabella 4-4, quindi per l'invio di una segnalazione di errore, COUNT sarà pari al numero degli errori occorso e COMANDO DATI uguale alla somma di 0x80+error code. Il diagramma di flusso sarà (fig. 4-18 e fig. 4-19):

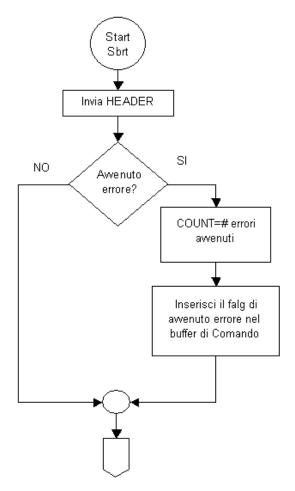


figura 4**-**18

CAPITOLO 4 Diagramma a blocchi del firmware di controllo

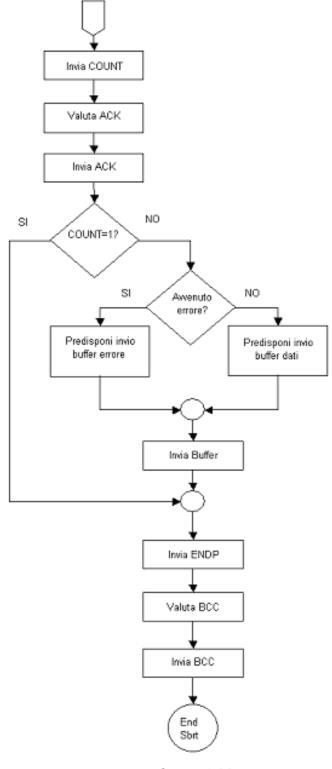


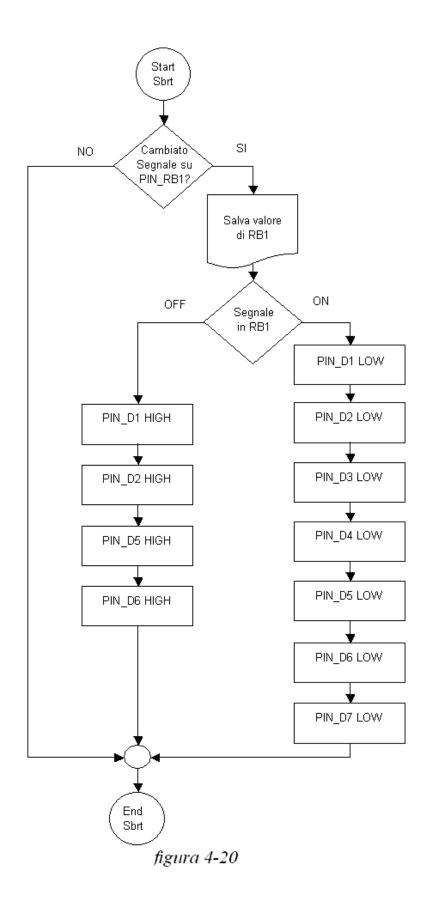
figura 4-19

CAPITOLO 4 Diagramma a blocchi del firmware di controllo

Sottoprogramma di controllo ON/OFF signal

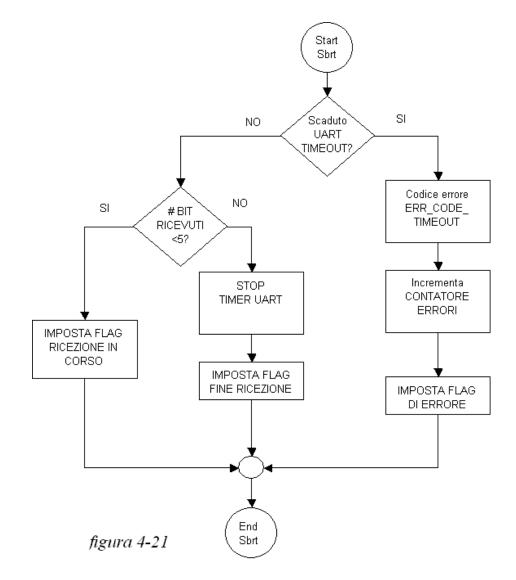
Questa funzione verifica lo stato del segnale on/off, conservandone il valore precedente. Infatti, nel caso in cui il segnale non fosse variato, il programma termina, invece, in presenza di una variazione, valuta se si tratta del segnale di off oppure di on, provvedendo a spegnere tutti i carichi qualora fosse arrivato l'off e ad accendere i carichi PC di bordo, Digital Unit, FGU e CGU in caso di on. Il diagramma di flusso è (fig. 4-20):

CAPITOLO 4 Diagramma a blocchi del firmware di controllo



Sottoprogramma di Valutazione della ricezione del comando

Questo Sottoprogramma valuta a che punto è la ricezione del byte di comando. Se è passato un tempo pari a 1s segnala l'avvenuto errore, se non sono ancora arrivati tutti i bit segnala che il ricevimento è in corso e, ricevuto l'intero comando, segnala l'avvenuta ricezione. Il diagramma di flusso è (fig. 4-21):



CAPITOLO 4

Diagramma a blocchi del firmware di controllo

Sottoprogramma di verifica stato periferica di acquisizione

Questo sottoprogramma attende un tempo minimo di 5s tra l'inizializzazione del sistema e l'avvio della prima acquisizione, tempo necessario ai dispositivi di acquisizione per iniziare a lavorare. Il flow chart è riportato in figura 4-22.

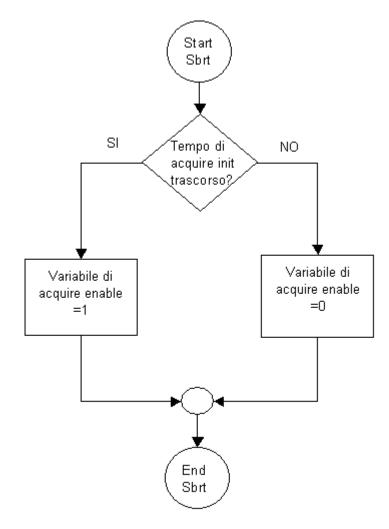


figura 4-22

CAPITOLO 4

Diagramma a blocchi del firmware di controllo

Funzioni di Interrupt

Normalmente l'esecuzione del codice da parte del processore è sequenziale, segue il flusso logico del programma in esecuzione. Inizialmente, con le prime macchine, non c'erano alternative a questo modo di funzionamento. Poco dopo, però, si è pensato di permettere l'interruzione del normale flusso di istruzioni seguito dal processore da parte di eventi esterni. Oggi, questo meccanismo è ampiamente usato e gli eventi che interrompono il processore sono normalmente associati ad una qualche periferica che richiede attenzione: per esempio, la pressione di un tasto, l'invio di un pacchetto dalla rete o lo scattare del tempo sull'orologio di sistema. Una volta verificatosi l'evento precedentemente impostato come interrupt, il programma eseguirà la routine ad esso associata. Nel firmware progettato, saranno attivati i seguenti interrupt:

- Timer1, per valutare il tempo che intercorre tra una ricezione e l'altra sulla porta dedicata alla comunicazione RS232. Attesa di circa 1s prima di segnalare l'evento.
- Timer2, per valutare il tempo necessario ad inizializzare i dispositivi preposti alla conversione analogico digitale. Attesa di circa 10s prima di segnalare l'evento.
- RDA, per gestire la comunicazione RS232. Appena arriva lo start bit, si preleva il bit inviato, salvandolo nell'apposito buffer e si avvia il timer per valutare il tempo che intercorre fino alla ricezione del bit successivo.

CAPITOLO 4

Diagramma a blocchi del firmware di controllo

Sottoprogramma di inizializzazione

Il sottoprogramma di inizializzazione si occupa dell'impostazione dei pin di I/O del PIC16F877A, abilitazione degli interrupt, abilitazione delle periferiche di acquisizione e impostazione di tutte le variabili di programma ai valori di default. Il diagramma di flusso è stato diviso in due parti, una indicante l'inizializzazione delle periferiche e dei driver ed un'altra indicante quella delle variabili. Il diagramma di flusso per la funzione di inizializzazione variabili è riportato in figura 4-23, mentre quello per inizializzazione delle periferiche e driver in figura 4-24.

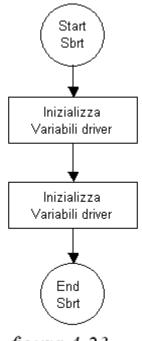


figura 4**-**23

CAPITOLO 4 Diagramma a blocchi del firmware di controllo

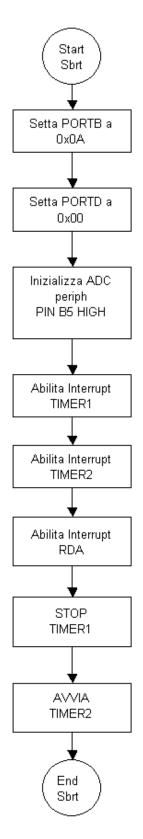
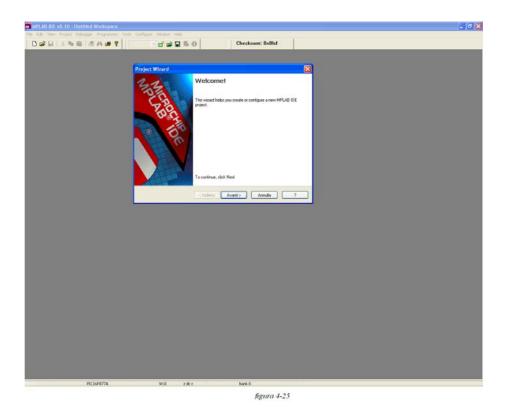


figura 4-24

4.2 Codifica

La fase di codifica costituisce l'ultimo passo progettuale. Infatti, una volta ultimato il firmware, resterà soltanto da completare la realizzazione del progetto con l'integrazione dei due sistemi e la fase di testing. Il linguaggio scelto per la implementazione delle istruzioni descritte nei diagrammi di flusso del paragrafo precedente, è il C. Le varie funzioni da implementare saranno divise in due file comprendenti uno tutti i sottoprogrammi dedicati all'acquisizione analogico digitale ed un altro file comprendente i restanti sottoprogrammi. Inoltre, verranno realizzati un file header, usato dai file precedentemente definiti, ed un file contenente la routine di interrupt. L'ambiente di sviluppo scelto è l'MPLAB della Microchip, versione 8.10 ed il compilatore C è il CCS, versione 4.057. I passi da seguire sono i seguenti. Una volta lanciato il programma MPLAB, la schermata che apparirà in video, scegliendo l'opzione project Wizard dal menù project, è la seguente (fig. 4-25):



Una volta scelto il nome del file e la directory di destinazione, si procede premendo "avanti" e scegliendo il tipo di device che si è scelto di utilizzare, nel progetto si è scelto il PIC16F877A (fig.4-26).

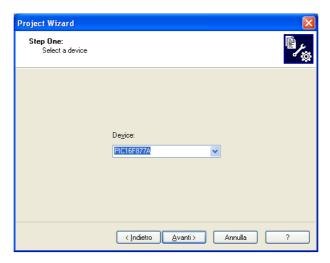


figura 4-26

Avanzando ancora si sceglie il tipo di compilatore, nel caso in questione CCS (fig. 4-27).

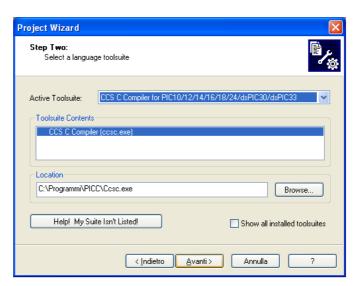


figura 4-27

Ancora, si sceglie la directory di destinazione del progetto ed il nome del file. Si includono i file già scritti da utilizzare nel progetto, tipo il bootloader.h e 16F877A.h. La schermata finale sarà (fig. 4-28):



figura 4-28

Ha ora inizio la fase di scrittura delle funzioni. Il firmware sarà diviso in cinque file: il main.c, il drivers.c, l'adc.c, l'interrupt.c ed il file header drivers.h. Si inizierà dal file drivers.c, file che, come detto in precedenza, includerà tutte le funzioni utili al riconoscimento dei segnali, di invio comandi e asservimento comandi.

Drivers.c

```
//****************************
******
// Drivers.c
//**************************
******
// AUTHOR: Califano Dario
// DATE: 7-02-2009
// VERSION: 1.0
// Questo file contiene i sottoprogrammi di driver
// Target: PIC16F877A
// Tool chain: MPLAB IDE v8.10 - Compiler CCS 4.057
//-----
#include "Drivers.h" //inclusione del file drivers.h
//-----
// MODULE GLOBAL VARIABLES
//-----
BYTE cmdLen;
                                    // numero dei comandi ricevuti
BYTE errBuffer[ERR_BUFFER_LEN]; // buffer di errore
                                    // variabile di valutazione bcc
BYTE bccCheck;
code
BYTE timeoutCounter;
                              // timeout counter
WORD acquireCounter;
                              // acquisition counter time
int1 uartTimeout;
                              // 1 --> uart timeout
int1 onOffSignal;
                              // valore di on/off ttl signal level
BYTE errCounter;
                              // error counter
//cmd received query
// return value:
// 0 --> cmd received
// 1 --> no cmd received
// -1 --> error
BYTE Drv_CmdReceived (void)
```

```
{
   // no byte received --> uart timeout could occur
   if (uartTimeout)//())
          STOP UART TIMEOUT;
          errCode=ERR_CODE_TIMEOUT; //assegna il codice invio per la
segnalazione di errore
          return RCV_ERROR;
    }
   // Valuta se è stato ricevuto tutto il comando,
   // se <5 bytes --> ricezione in corso
   if (cmdLen < CMD_LEN)
          return RCV_RUNNING;
   //>=5 bytes recevuti --> end
   STOP_UART_TIMEOUT;
   return RCV_END;
}
// cmd receiving query
// return value:
// 0 --> cmd received without error
  -1 --> error
BYTE Drv_CheckCmd (void)
   // calcola il bcc code
   bccCheck = (\sim((BYTE)(CMD\_COUNT + CMD\_CMDDATA))) + 1;
   // check rs232 errors
   if (RS232_ERRORS & 0x02)
          errCounter++;
          errBuffer[errcounter]= ERR_CODE_OERR;
    else if (RS232_ERRORS & 0x04)
          errCounter++;
          errBuffer[errcounter]= ERR_CODE_FERR;
   // check cmd len
   else if (cmdLen >> CMD_LEN)
          errCounter++;
```

```
// check header
   else if (CMD_HEADER != CMD_HEADER_DEFAULT)
          errCounter++;
          errBuffer[errcounter] = ERR_CODE_WRONG_HDR;
   // count != 1 --> error
   else if (CMD_COUNT != 1)
          errCounter++;
          errBuffer[errcounter] = ERR_CODE_WRONG_CNT;
   // check endp (last received byte - 1)
   else if (CMD_ENDP != CMD_ENDP_DEFAULT)
          errCounter++;
          errBuffer[errcounter]= ERR_CODE_WRONG_ENDP;
   // check bcc (last received byte)
   else if (CMD_BCC != bccCheck)
          errCounter++;
          errBuffer[errcounter]= ERR_CODE_WRONG_BCC;
   // error code set --> return error msg
   if (errCounter)
          errCode=ERR_FLAG;
          return RCV_ERROR;
   // no error --> return receving ok
   return RCV_END;
}
// legge il cmd ricevuto e lo esegue
void Drv_SetOperation (void)
   // individua il cmd
   switch (CMD_CMDDATA)
          case CMD_OPER_AUTO_ON:
```

errBuffer[errcounter]= ERR_CODE_WRONG_LEN;

```
// abilita controllo automatico
      automatic=1:
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD OPER AUTO OFF:
     // abilita contollo manuale
      automatic=0;
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
// switch on cmd
case CMD_OPER_DU_ON:
      output_high(PS_DU);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD OPER FGU ON:
      output_high(PS_FGU);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD_OPER_SWRF_ON:
      output_high(PS_SWRF);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD_OPER_RXTX_ON:
      output_high(PS_RXTX);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD OPER CGU ON:
      output high(PS CGU);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD_OPER_PC_ON:
      output high(PS PC);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD_OPER_RF_ON:
      output_high(PS_RF);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
case CMD OPER SPARE ON:
      output high(PS SPARE);
      delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
break;
// switch off commands
case CMD_OPER_DU_OFF:
      output_low(PS_DU);
```

```
delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break:
      case CMD_OPER_FGU_OFF:
            output_low(PS_FGU);
            delay cycles (CMD NOP NUMBER);
      break;
      case CMD_OPER_SWRF_OFF:
            output_low(PS_SWRF);
            delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break;
      case CMD_OPER_RXTX_OFF:
            output_low(PS_RXTX);
            delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break;
      case CMD OPER CGU OFF:
            output_low(PS_CGU);
            delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break;
      case CMD_OPER_PC_OFF:
            output_low(PS_PC);
            delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break;
      case CMD_OPER_RF_OFF:
            output_low(PS_RF);
            delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break;
      case CMD OPER SPARE OFF:
            output low(PS SPARE);
            delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break;
// protocol commands
      case CMD_OPER_START_SAR:
      // avvia le operazioni di SAR
 output_high(PS_DU);
 output_high(PS_FGU);
 output_high(PS_SWRF);
 output high(PS RXTX);
 output_high(PS_CGU);
 output_high(PS_PC);
 output_high(PS_RF);
 delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
      break;
      case CMD_OPER_STOP_SAR:
```

```
// radar in stand-by
     output_low(PS_SWRF);
     output_low(PS_RXTX);
     output low(PS RF);
     output_low(PS_CGU);
                 delay_cycles( CMD_NOP_NUMBER );
          break;
          // cmd richiesta telemetria di bordo
          // float values are off-line already converted into hex values
          case CMD_OPER_TELEM_REQ:
                 CMD_COUNT = (sizeof(WORD) * ADC_CHANNELS) + 1;
          break;
          default:
                 // error cmd sconosciuto
                 errCode = ERR_CODE_WRONG_TYPE;
          break;
    }
}
// Inivia dati, errori e ack di esecuzione comandi sulla RS232
// HEADER COUNT DATA ENDP BCC
// HEADER = 02
// COUNT = 01 for switch on/off, ?60? for telemetry
// DATA = 00 for switch on/off o error, valore float per telemetria di bordo
// ENDP = 03
// BCC = bcc evaluated starting from COUNT up to DATA included
void Drv_SendResponse (void)
{
    BYTE *pData2Sent; // pointer to float array
    BYTE i;
    //valuta se è avvunto l'errore ed imposta la maschera di errore
    if(errCode!=0)
    { CMD_COUNT=errCounter;
     CMD_CMDDATA=ERR_FLAG;
    }
    // invia header byte e count
    putc(CMD_HEADER_DEFAULT);
```

```
putc(CMD_COUNT);
    // inizia il calcolo di BCC
    bccCheck = CMD_COUNT;
 // invia acknowledge
    putc((CMD\_CMDDATA | 0x80));
    // continua algoritmo di BBC
    bccCheck += (CMD\_CMDDATA \mid 0x80);
    // Valuta il tipo di dato da mandare. Se errore o
    // Richiesta telemetria invia il rispettivo buffer
    if (CMD\_COUNT > 1)
    {
           if(errCode!=0)
           pData2Sent= (BYTE *)errBuffer;
           pData2Sent = (BYTE *)acquiredData2Sent;
     for (i = 0; i < CMD\_COUNT - 1; i++)
                  putc(*pData2Sent);
                  bccCheck += *pData2Sent;
                  pData2Sent++;
           }
    }
    // calcola il bccCheck 2's complement
    bccCheck = (\sim bccCheck) + 1;
    // invia endp e bcc
    putc(CMD_ENDP_DEFAULT);
    putc(bccCheck);
}
// questa funzione legge li cambiamento di TTL on/off signal
// ed esegue i rispettivi comandi
void Drv_OnOffHandling(void)
    // Valuta il vecchio segnale on/off ed il nuovo
    // se è cambiato entra nell'if
    if (onOffSignal != input(PS_GENERAL_ONOFF))
          // valore cambiato
           // attribuisce alla var di stato il nuovo valore
```

```
onOffSignal = input(PS_GENERAL_ONOFF);
           // Segnale di on?
           if (onOffSignal == 1)
           // avvia il sistema
     output_high(PS_PC);
     output_high(PS_DU);
     output_high(PS_FGU);
     output_high(PS_CGU);
           }
           else
           // segnale di off, spegni il sistema
     output_low(PS_DU);
     output low(PS FGU);
     output_low(PS_SWRF);
     output_low(PS_RXTX);
     output_low(PS_CGU);
     output_low(PS_PC);
     output_low(PS_RF);
           }
    }
}
// peripheral initialization
void Drv_PeriphInit (void)
    // port B collegata a ADC: B1 (TTL signal) and B4 (DOUT) sono input
    set_tris_b (0x0A);
    output_b(0x00);
    // port D usata per il comando dei relè: tutti outputs
    set_tris_d (0x00);
    output d(0x00);
    // init ADC peripheral
    Adc_PeriphInit();
    // abilitazione interrupts
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_TIMER1);
    enable_interrupts(INT_TIMER2);
    enable_interrupts(INT_RDA);
```

```
STOP_UART_TIMEOUT;
    START_SAMPLE_TIMER;
}
// initialization module function
void Drv_DriverInit (void)
                = 1; // abilita controllo automatico in default
    automatic
    onOffSignal
                   = 0; // segnale on/off spento in default
   timeoutCounter = 0; // clear timeout counter
    acquireCounter = 0; // clear acquire counter
    uartTimeout = 0;
                         // azzera timer1
    cmdLen
                = 0;
                         // clear comand len
    bccCheck
                 = 0;
                         // clear bccCheck
    errCode
                = NO_ERROR; //Nessun errore in default
    errCounter =0;
                        // clear errore counter
    Adc_AcquireInit(); // inizializza variabili di acquisizione
    ctrlcmdflag=0; // flag di comando di controllo
}
```

Adc.c

Prima di iniziare la scrittura del codice delle funzioni di acquisizione analogico digitale e di controllo, si devono definire i limiti, inferiore e superiore, che ogni specifico carico deve avere. Si ricorda, pertanto, che la conversione analogico digitale è su 12 bit e la tensione di riferimento, per il convertitore è 5V, ci si dovrà, quindi, riportare, a seconda del carico in esame, alla rispettiva unità di risoluzione e, analizzando lo specifico sensore, sia esso dedicato alla misura della tensione o della corrente, ricavare i suddetti limiti. Nella tabella 4-5 si riportano le specifiche di progetto.

| TABELLA 4-5 | | | | | |
|--|------------|----------|-----------|----------|---------------|
| Dinamiche di alimentazione dei carichi | | | | | |
| Carico | Tensione | Corrente | Ripple | Corrente | Modalità di |
| | Nominale | Nominale | Ammesso | massima | funzionamento |
| PC di bordo | 24 V ±4 | 3 A | 100 mV | 3 A | Continuo |
| Amplificatore | 24 V ±1 | 2.5 A | 150 mV | 12 A | Pulsato |
| RF | 24 V ±1 | 2.3 11 | 130 111 4 | 1271 | 1 disato |
| CGU | 5 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo |
| FGU | 12 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo |
| DU1 | 5 V ±0.5 | 4 A | 60 mV | 4 A | Continuo |
| DU2 | 3.3 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo |
| Switch RF 1 | -96 V ± 2 | 5 mA | 60 mV | 5 mA | Continuo |
| Switch RF 2 | 5 V ±0.5 | 100 mA | 60 mV | 100 mA | Continuo |
| Rx-Tx | 12 V ±0.5 | 1 A | 60 mV | 1 A | Continuo |

Per la misurazione delle tensioni dei carichi CGU, FGU, DU1, DU2 e RxTx, si è utilizzato un partitore che nel caso in cui vi fosse, a monte del partitore stesso, una

tensione di 15V, riportasse all'ingresso del convertitore una tensione di 5V. Quindi, essendo per il convertitore i 5V corrispondenti al numero binario 1111.1111.1111b, i 12 bit, in decimale 4095, si ha che questo valore, per i suddetti carichi, corrisponde ad una tensione di 15V. Pertanto, l'unità di risoluzione risulta essere:

$$Risoluzione = \frac{15}{4095} = 3.7mV$$

A questo punto, ottenuta l'unità di risoluzione, si possono ricavare i limiti inferiore e superiore della tensione dei carichi citati in precedenza, dividendo i valori delle specifiche di progetto per l'unità di risoluzione. Nella tabella 4-6 sono riportati i limiti superiori ed inferiori di ciascun carico e, inoltre, la valutazione del limite comprendente un errore di circa 1%.

| TABELLA 4-6 Valori limite di tensione | | | | | |
|--|---|------|------|------|--|
| Carico | arico Limite inf. Limite sup. Inf. 1% Sup. 1% | | | | |
| DU1 | 1216 | 1486 | 1200 | 1500 | |
| DU2 | 757 | 1027 | 750 | 1040 | |
| FGU | 3108 | 3378 | 3077 | 3412 | |
| CGU | 1216 | 1486 | 1200 | 1500 | |
| RxTx | 3108 | 3378 | 3077 | 3412 | |

Per la tensione di ingresso, il partitore è stato realizzato in modo tale che quando al convertitore arriva una tensione di 5V, a monte del partitore si ha una tensione di 30V. Quindi si ha:

$$Risoluzione = \frac{30}{4095} = 7.3mV$$

I valori limite sono riportati nella tabella 4-7.

| TABELLA 4-7 | | | | |
|--|-------------|-------------|---------|---------|
| Valori limite della tensione di ingresso | | | | |
| Carico | Limite inf. | Limite sup. | Inf. 1% | Sup. 1% |
| Tensione di ingresso | 2740 | 3836 | 2713 | 3798 |

Per le correnti il discorso muta leggermente. Infatti il sensore di corrente restituisce un valore di tensione pari a 4.5V corrispondente al valore di fondo scala deciso. Per i carichi PC di bordo, CGU, FGU, DU1, DU2 e RxTx il valore di fondo scala è 5A. Pertanto, dato che la tensione di riferimento del convertitore è sempre 5V, il valore di 5A, corrispondente ai 4.5V sarà, per il convertitore 1110.1010.0110b, 3750 decimale, quindi l'unità di risoluzione sarà:

$$Risoluzione = \frac{5}{3750} = 1.34 mA$$

Ottenuta la risoluzione si ricavano i limiti della corrente per i carichi con valore di fondo scala pari a 5A, riportati nella tabella 4-8.

| TABELLA 4-8 Valori limite della corrente | | | |
|---|--|------|--|
| Carico | Carico Limite inferiore Limite superio | | |
| DU1 | 2687 | 3283 | |
| DU2 | 671 | 821 | |
| FGU | 671 | 821 | |
| CGU | 671 | 821 | |
| RxTx | 671 | 821 | |
| PC di bordo | 2015 | 2463 | |

Per la corrente dell'amplificatore RF è stato impostato un valore di fondo scala pari a 15A, quindi l'unità di risoluzione sarà:

$$Risoluzione = \frac{15}{3750} = 4.02mA$$

I valori limite per l'amplificatore RF sono riportati nella tabella 4-9.

| TABELLA 4-9 | | |
|--|------|------------------|
| Valori limite della corrente | | |
| Carico Limite inferiore Limite superio | | Limite superiore |
| Amplificatore RF | 3172 | 3917 |

Si hanno a questo punto tutti gli elementi per realizzare il codice.

| // ** * * * * * * * * * * * * * * * * * | e ste ste ste ste ste ste ste ste ste st |
|---|--|
| // Adc.c | |
| //*************** | ******* |
| // | |
| // AUTHOR: Dario Califano | |
| // DATE: 7-02-2009 | |
| // | |
| // VERSION: 1.0 | |
| // | |
| // Questo file contiene i sottoprogrammi di acquisizion | e |
| // | |
| // Target: PIC16F877A | |
| // Tool chain: MPLAB IDE v8.10 - Compiler CCS 4.03 | 57 |
| | |
| // | |
| | |
| #include "drivers.h" | |
| | |
| // | |
| // MODULE GLOBAL VARIABLES | |
| // | |
| | |
| WORD acquiredData2Sent[ADC_CHANNELS]; | // numerical acquisition |
| WORD acquireBuffer[ADC_CHANNELS]; | // numerical acquisition |
| BYTE channel2Acquire; | // current channel number |
| BYTE acquisitionPerChannel; | // nr of acquisition per |
| channel | |
| int1 acquireEnable; | // 1> uart timeout |
| WORD tmpadc; | // registro temporaneo per il |
| controllo | |

```
ADC DRIVER FUNCTIONS
// inizializza chip selects
void adc_PeriphInit()
{
    output_high(MCP3208_CS);
}
// invia la maschera di impostazione modalità e scelta canale al convertitore A/D
void write_adc_byte(BYTE data_byte, BYTE number_of_bits)
 BYTE i;
    delay_us(2); //attendi 2us
    for(i = 0; i < number of bits; ++i)
      output_low(MCP3208_CLK);
      // controlla il LSB della maschera di controllo
           // per verificare se inviare 1 oppure 0
           if((data_byte \& 1) == 0)
                  output_low(MCP3208_DIN);
           else
                  output high(MCP3208 DIN);
      data_byte = data_byte >> 1; //shift a dx la maschera
      delay_us(ADC_TSU);
                                             //aspetta data input setup time
      output high(MCP3208 CLK);
      delay_us(ADC_THD);
                                             //aspetta data input hold time
    }
}
// legge il risultato della conversione dal buffer del convertitore
BYTE read_adc_byte(BYTE number_of_bits)
 BYTE i,data;
    data = 0;
    for(i = 0; i < number_of_bits; ++i)
           output low(MCP3208 CLK);
    delay us(ADC TLO);
                             //aspetta clock low time
           shift_left(&data, 1, input(MCP3208_DOUT)); //copia nel buffer e shift
il datareg a sx
           output_high(MCP3208_CLK);
           delay_us(ADC_THI);
                                       //aspetta clck high time
 return(data);
```

```
}
// Legge il canale analogico
// parameters:
           channel
                         0..15 (0..7 for ADC1 and 8..15 for ADC2)
//
//
           mode
                         0 --> differential
                                               1 --> single
//
// return value:
    value
                  acquired value
WORD read_analog_mcp(BYTE channel)
    WORD acquiredValue;
    BYTE ctrl_bits;
    BYTE adcCS;
                                                             // 0 --> adc0 ; 1 -->
adc1
    // Individua il convertitore
    // channel 0..7 --> CS1
    // channel 8..15 --> CS2 (in this case shift channel to 0..8)
    if (channel < 8)
    {
           adcCS = 0;
    }
    else
    {
           adcCS = 1;
           channel -= 8;
    delay_us(ADC_INIT_DELAY); //aspetta tempo di inizializzazione
    output_low(MCP3208_CLK);
    output_high(MCP3208_DIN);
    (adcCS == 0) ? output_low(MCP3208_CS) : output_high(MCP3208_CS);
    if(channel==1)
                                              // Imposta la maschera di comando
                                              //invertendo MSB del channel #
           ctrl_bits=4;
                                              // portandola al LSB
    else if(channel==3)
           ctrl bits=6;
    else if(channel==4)
           ctrl bits=1;
    else if(channel==6)
           ctrl_bits=3;
    else
           ctrl_bits=channel;
    ctrl_bits=ctrl_bits<<1;
```

```
// In single mode
    ctrl bits = 1;
    ctrl_bits = ctrl_bits << 1;
                                      // Inserisci nel LSB lo start bit
    ctrl_bits = 1;
    write_adc_byte(ctrl_bits, 7);//invia i control bits
    acquiredValue = ((WORD)read_adc_byte(8) << 4) |
(WORD)(read_adc_byte(4));
    (adcCS == 0) ? output_high(MCP3208_CS) : output_low(MCP3208_CS);
    return acquiredValue;
}
          ADC ACQUIRE FUNCTIONS
// Controlla il tempo di sample per valutare
// se il convertitore è pronto:
// 0 --> sample time non yet expired
// 1 --> sample time expired
BYTE Adc_TimeExpired(void)
    return acquireEnable;
}
// adc acquiring main function
void Adc_AcquireTask(void)
{
int1 channelflag;
 while(channelflag==0) {
    if(channel2Acquire==0||channel2Acquire==1||channel2Acquire==9||channel2A
cquire==10)
    {
           if(input_state(PS_DU)==0)
           channel2Acquire++;
           else channelflag=1;
    if(channel2Acquire==2||channel2Acquire==11)
           if(input_state(PS_FGU)==0)
           channel2Acquire++;
```

```
else channelflag=1;
  if(channel2Acquire==4||channel2Acquire==13)
         if(input_state(PS_RXTX)==0)
         channel2Acquire++;
         else channelflag=1;
  if(channel2Acquire==5||channel2Acquire==14)
         if(input_state(PS_CGU)==0)
         channel2Acquire++;
         else channelflag=1;
  if(channel2Acquire==6)
         if(input_state(PS_PC)==0)
         channel2Acquire++;
         else channelflag=1;
  if(channel2Acquire==7)
  {
         if(input_state(PS_RF)==0)
         channel2Acquire++;
         else channelflag=1;
  if(channel2Acquire==8)
  channelflag=1;
  if(channel2Acquire==3||channel2Acquire==12)
         channel2Acquire++;
  if (channel2Acquire == ADC_CHANNELS)
                // start from the first channel
                channel 2Acquire = 0;
                // zeroize the acquire buffer to not consider old acquisition
                memset(acquireBuffer, 0x00, sizeof(acquireBuffer));
                // stop the continous acquisition
                acquireEnable = 0;
                // start the acqusition timer for the next burst
                START_SAMPLE_TIMER;
         }
}
```

```
// acquire and update the acquisition channel
   acquireBuffer[channel2Acquire] += read_analog_mcp(channel2Acquire);
   // valuto quante acquisizioni per lo stesso canale
   acquisitionPerChannel++;
   // nr di acquisizioni per channel raggiunto --> valua la media
   if (acquisitionPerChannel == ADC_MEAN_NUMBER)
         // reset counter
         acquisitionPerChannel = 0;
         // 2 powered mean --> shift right
   // copia nel buffer di invio
   acquiredData2Sent[channel2Acquire] = acquireBuffer[channel2Acquire] >>
ADC_MEAN_SHIFT;
         //Funzione di controllo
                                  automatico
if(automatic==1)
   tmpadc=acquiredData2Sent[channel2Acquire];
   Adc_ControlTask ();
}
         // aggiorna channel
         channel2Acquire++;
   }
** Controllo Automatico dei carichi
void Adc_ControlTask (void)
//CLRT struct
#define I_DU1 0
#define I DU2
               1
#define I_FGU
                2
#define I RXTX 4
#define I CGU
#define I_PC 6
#define I RF 7
#define V IN
                8
#define V_DU1
               9
#define V_DU2
                10
#define V_FGU
                11
#define V_RXTX 13
#define V_CGU 14
```

```
BYTE i;
int count;
   switch (channel2Acquire)
   case I PC: //controllo corrente PC
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                 if((2015<tmpadc) && (2463>tmpadc))
                 break;
                 else if (count==0) {
                 count ++;
                 tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                 else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_PC_OFF;
                              CMD_COUNT=1;
                              ctrlcmdflag=1;
                 }
   break;
   case I_RF: //Controllo corrente RF
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                 if((3172<tmpadc) && (3917>tmpadc))
                 break:
                 else if (count==0) {
                 count ++;
                 tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                 else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_RF_OFF;
                              CMD_COUNT=1;
                              ctrlcmdflag=1;
                 }
          }
   break;
    case I_DU1: //Controllo corrente DU1
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                 if((2687<tmpadc) && (3283>tmpadc))
                 break;
                 else if (count==0) {
           count ++;
                 tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
```

{

```
}
                else
                { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_DU_OFF;
                 CMD_COUNT=1;
                 ctrlcmdflag=1;
                }
    }
   break;
   case I_DU2: //Controllo corrente DU2
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                if((671<tmpadc) && (821>tmpadc))
                break;
                else if (count==0) {
                count ++;
                tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                }
                else
                 CMD_CMDDATA=CMD_OPER_DU_OFF;
                 CMD_COUNT=1;
           ctrlcmdflag=1;
                }
break;
   case I_FGU: //Controllo corrente FGU
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                if((671<tmpadc) && (821>tmpadc))
                break;
                else if (count==0) {
                count ++;
                tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_FGU_OFF;
                      CMD_COUNT=1;
                             ctrlcmdflag=1;
                }
          }
```

```
break;
 case I CGU: //Controllo corrente CGU
        count=0;
        for (i=0;i<2;i++) {
              if((671<tmpadc) && (821>tmpadc))
               break;
              else if (count==0) {
               count ++;
               tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
              else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_CGU_OFF;
                           CMD_COUNT=1;
                           ctrlcmdflag=1;
              }
 break;
 case I_RXTX: //Controllo corrente RxTx
        count=0;
        for (i=0;i<2;i++) {
              if((671<tmpadc) && (821>tmpadc))
               break;
              else if (count==0) {
               count ++;
               tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
              else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_RXTX_OFF;
                           CMD_COUNT=1;
                           ctrlcmdflag=1;
              }
        break;
case V_IN: //Controllo tensione di ingresso (PC e Amplificatore RF)
        count=0;
        for (i=0;i<4;i++) {
              if((2640<tmpadc) && (3976>tmpadc))
              if ((count==2)||(count==3)){
                     CMD COUNT=1;
                     Drv_sendResponse();
                     }
```

```
break;
           }
           else if (count==0) {
      tmpadc=read analog mcp(channel2Acquire);
           else if (count==1) {
                CMD_CMDDATA=CMD_OPER_RF_OFF;
                Drv_SetOperation();
                tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
           else if (count==2) {
                CMD_CMDDATA=CMD_OPER_RF_ON;
                Drv_SetOperation();
                CMD_CMDDATA=CMD_OPER_PC_OFF;
               Drv_SetOperation();
                tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
     }
                     CMD_CMDDATA=CMD_OPER_RF_OFF;
           else {
                            Drv_SetOperation();
                            CMD_COUNT=1;
                            Drv_sendResponse();
                            CMD_CMDDATA=CMD_OPER_PC_OFF;
                            ctrlcmdflag=1;
           count++;
           }
break;
   case V_DU1: //Controllo tensione DU1
   count=0;
         for (i=0;i<2;i++) {
         if((1200<tmpadc) && (1500>tmpadc))
                 break;
                else if (count==0) {
                count ++;
                 tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_DU_OFF;
                            CMD COUNT=1;
                            ctrlcmdflag=1;
```

```
}
break;
   case V_DU2: //Controllo tensione DU2
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                if((750<tmpadc) && (1040>tmpadc))
                 break;
                 else if (count==0) {
             count ++;
                 tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_DU_OFF;
                              CMD_COUNT=1;
                              ctrlcmdflag=1;
                 }
break;
   case V_FGU: //Controllo tensione FGU
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                if((3105<tmpadc) && (3410>tmpadc))
                 break;
                 else if (count==0) {
                 count ++;
                 tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                 else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_FGU_OFF;
                              CMD_COUNT=1;
                              ctrlcmdflag=1;
                 }
break;
   case V CGU: //Controllo tensione CGU
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                if((1200<tmpadc) && (1500>tmpadc))
                 break;
```

```
else if (count==0) {
                count ++;
                       tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_CGU_OFF;
                              CMD_COUNT=1;
                              ctrlcmdflag=1;
                 }
          break;
   case V_RXTX: //Controllo tensione RxTx
          count=0;
          for (i=0;i<2;i++) {
                if((3105<tmpadc) && (3410>tmpadc))
                  break;
                 else if (count==0) {
                  count ++;
                  tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
                else { CMD_CMDDATA=CMD_OPER_RXTX_OFF;
                              CMD COUNT=1;
                              ctrlcmdflag=1;
                       }
                 }
          }
break;
// adc acquire initialization function
void Adc_AcquireInit(void)
{
   memset(acquireBuffer, 0x00, sizeof(acquireBuffer));
   acquireEnable
                              = 1;
   channel2Acquire
                              = 0;
   acquisitionPerChannel
                              = 0;
}
```

Drivers.h

| //************************************ | | | |
|---|--|--|--|
| // Drivers.h | | | |
| //********************************* | | | |
| ******** | | | |
| // | | | |
| // AUTHOR: Dario Califano | | | |
| // DATE: 07-02-2009 | | | |
| // WEDGION 1.0 | | | |
| // VERSION: 1.0 // | | | |
| // // Questo file contiene il file header | | | |
| // Questo the contiene if the header | | | |
| // // Target: PIC16F877A | | | |
| // Tool chain: MPLAB IDE v8.10 - Compiler CCS 4.057 | | | |
| // Tool chain. WEER IDE VO. TO Compiler CCS 1.037 | | | |
| // | | | |
| | | | |
| #ifndefDRIVERS_H | | | |
| #defineDRIVERS_H | | | |
| | | | |
| // | | | |
| // TYPEDEFS | | | |
| // | | | |
| | | | |
| town defense in a 11 and in t WODD | | | |
| typedef unsigned long int WORD; | | | |
| | | | |
| // | | | |
| // DEFINES | | | |
| // | | | |
| | | | |
| #define IDLE 0 | | | |
| #define RCV 1 | | | |
| #define OPER 2 | | | |
| #define SEND 3 | | | |
| #define ACQUIRE 4 | | | |
| BYTE fsmState; | | | |
| int1 automatic; | | | |

```
int1 ctrlcmdflag;
// ---- pinout ----
// TTL ON/OFF signal
#define PS GENERAL ONOFF
                               PIN_B1 // TTL input signal
// ADC pins
#define MCP3208_CLK
                          PIN_B2 // ADC clock
#define MCP3208_DOUT
                           PIN_B3 // ADC data out
#define MCP3208_DIN
                          PIN B4 // ADC data in
#define MCP3208_CS
                         PIN_B5 // ADC0
// power supply pins
#define PS_SPARE
                        PIN_D0
#define PS DU
                      PIN D1
#define PS_FGU
                      PIN_D2
#define PS SWRF
                       PIN D3
#define PS_RXTX
                       PIN_D4
#define PS_CGU
                       PIN_D5
#define PS_PC
                     PIN_D6
#define PS_RF
                     PIN_D7
// RcvCmd return values defines
#define RCV_END
#define RCV RUNNING
                           1
#define RCV_ERROR
                          255
// cmd/resp lengths
#define CMD_BUFFER_LEN
                              15
// error Buffer lengths
#define ERR_BUFFER_LEN
                             11
BYTE cmdBuffer[CMD_BUFFER_LEN];
// ---- command packet information ----
//Error
#define errCode
                    errBuffer[0]
// packet is HEADER COUNT COMMAND+DATA ENDP BCC
// PTR define command packet position
#define CMD_LEN
                        5
#define CMD_PTRHEADER
                             0
                            1
#define CMD PTRCOUNT
#define CMD_PTRDATA
                           2
#define CMD_PTRENDP
                           3
```

```
#define CMD_PTRBCC
// these define the command packet bytes
                          cmdBuffer[CMD_PTRHEADER]
#define CMD HEADER
                         cmdBuffer[CMD_PTRCOUNT]
#define CMD_COUNT
                           cmdBuffer[CMD PTRDATA]
#define CMD CMDDATA
#define CMD_ENDP
                        cmdBuffer[CMD_PTRENDP]
#define CMD_BCC
                       cmdBuffer[CMD_PTRBCC]
// this defines the lenght fo non data bytes
#define CMD NODATA LEN
                                 // HEADER COUNT ENDP BCC
// headers cmd codes
#define CMD HEADER DEFAULT
                                 0x02
#define CMD_ENDP_DEFAULT
                              0x03
// operation cmd codes
#define CMD OPER AUTO ON
                                  0x00 // controllo automatico
// debug commands
#define CMD_OPER_DU_ON
                             0x41 // switch on DU
#define CMD_OPER_FGU_ON
                              0x42 // switch on FGU
#define CMD_OPER_SWRF_ON
                              0x43 // switch on FGU
#define CMD_OPER_RXTX_ON
                              0x44 // switch on RX TX
                               0x45 // switch on CGU
#define CMD_OPER_CGU_ON
#define CMD OPER PC ON
                             0x46 // switch on PC
#define CMD_OPER_RF_ON
                             0x47 // switch on RF amplifier
#define CMD OPER SPARE ON
                               0x48 // switch on spare supply
#define CMD OPER DU OFF
                              0x49 // switch off DU
                              0x4A // switch off FGU
#define CMD_OPER_FGU_OFF
#define CMD_OPER_SWRF_OFF
                               0x4B // switch on FGU
#define CMD_OPER_RXTX_OFF
                               0x4C // switch off RX TX
#define CMD OPER CGU OFF
                              0x4D // switch off CGU
#define CMD_OPER_PC_OFF
                              0x4E // switch off PC
#define CMD_OPER_RF_OFF
                              0x4F // switch off RF amplifier
#define CMD_OPER_SPARE_OFF
                                0x50 // switch off spare supply
#define CMD OPER AUTO OFF
                                             // controllo manuale
                               0x01
#define CMD_OPER_START_SAR
                               0x02
#define CMD OPER STOP SAR
                              0x03
#define CMD OPER TELEM REQ
                                 0x04 // telemetry request
// defines the cmd number of nops
                              5
#define CMD NOP NUMBER
// ADC number of channels
```

```
#define ADC_CHANNELS
                           15
// error code defines
#define NO_ERROR
                       0x00
#define ERR CODE OERR
                            0x01
#define ERR_CODE_FERR
                           0x02
#define ERR_CODE_WRONG_HDR
                                  0x03
#define ERR_CODE_WRONG_BCC
                                 0x04
#define ERR_CODE_TIMEOUT
#define ERR_CODE_WRONG_TYPE
                                  0x06
#define ERR_CODE_WRONG_ENDP
                                   0x07
#define ERR_CODE_WRONG_CNT
                                 0x08
#define ERR_CODE_WRONG_LEN
                                 0x09
#define ERR_FLAG
                                   0x10
//-----
// UART Timeout defines and macro's
//-----
// to reach 1 seconds timeout for TIMER1:
// 20MHz/4 / 8 -> 1.6us * 65536 * 10
#define TIMEOUT_COUNT
                            10
#define STOP_UART_TIMEOUT
                               setup_timer_1 (T1_DISABLED),
set timer1(0), timeoutCounter = 0
#define START_UART_TIMEOUT
                                setup_timer_1 ( T1_INTERNAL |
T1_DIV_BY_8);
// ADC defines and macro's
//-----
// MCP3208 timings
#define ADC_INIT_DELAY
                                // library default 200
#define ADC_TSU
                       5
                           // library default 50
                       5
#define ADC_THD
                           // library default 50
#define ADC_THI
                          // library default 50
                      5
#define ADC TLO
                       5
                           // library default 50
// nr of acquisition for mean evaluation (2 powered value)
// 0 \longrightarrow 1 value (no mean)
// 1 \longrightarrow 2 values for mean
// 2 \longrightarrow 4 values for mean
```

// 3 --> 8 values for mean

```
// ...
#define ADC MEAN SHIFT
#define ADC_MEAN_NUMBER
                                 (1 << ADC_MEAN_SHIFT)
// setup timer 2 for 10ms
// timer 2 freq = fosc / 4 * prescaler
// T = (4 * prescaler / fosc) * value * postscaler
// Value = T * fosc / 4 * prescaler * postscaler
// prescaler = 16 - postscaler = 16 --> Value = 195
                            500 // in milliseconds
#define SAMPLE_TIME
#define SAMPLE_TIME_COUNT
                                 (SAMPLE_TIME / 10)
#define STOP_SAMPLE_TIMER
                                setup_timer_2 ( T2_DISABLED, 0, 16 ),
set_timer2(0), acquireCounter = 0
#define START_SAMPLE_TIMER
                                  setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, 195, 16);
// EXPORTED FUNCTIONS
//-----
extern void Drv_DriverInit (void);
extern void Drv_SetOperation (void);
extern void Drv_SendResponse (void);
extern void Adc_ControlTask (void);
#endif
```

Main.c

```
//**************************
//**************************
// AUTHOR: Dario Califano
// DATE: 07-02-2009
// VERSION: 1.0
// Questo file contiene il main
// Target: PIC16F877A
// Tool chain: MPLAB IDE v8.10 - Compiler CCS 4.057
//-----
#include <16F877A.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, ERRORS)
#include <bootloader.h>
#include "Adc.c"
#include "Drivers.c"
#include "Interrupts.c"
// initialization function
void initialize (void)
{
   // chiama le funzioni di inizializzazione
   Drv_PeriphInit();
   Drv_DriverInit();
   // set la fsmState a IDLE
   fsmState = IDLE;
```

```
void main (void)
    BYTE result;
    // Initialization
    initialize();
    while(1)
    switch(fsmState)
     case IDLE:
     // check the TTL on/off signal prima di qualsiasi operazione
     Drv_OnOffHandling();
    // cmd received --> RCV controlla a che punto è la ricezione del cmd
     result = Drv CmdReceived();
     // result ok --> RCV cmd ricevuto
     if (result == RCV_END)
     fsmState = RCV;
     // result error --> errore di ricezione cmd
     else if (result == RCV_ERROR)
           fsmState=SEND;
           break:
    // check se la periferica di acquisiz. è pronta
     if (Adc_TimeExpired())
           fsmState = ACQUIRE;
   break;
   case RCV:
           // controlla il comando ricevuto
           result = Drv_CheckCmd();
           // result ok --> se ok vai in OPER state
           if (result == RCV_END)
                  fsmState = OPER;
           // result error --> errore vai in SEND state
           else if (result == RCV_ERROR)
                  fsmState = SEND;
     break;
   case OPER:
           // esegui il comando
           Drv_SetOperation();
```

```
// entra in SEND state per inviare segnalazione
           fsmState = SEND;
     break;
   case SEND:
          // invia dati o segnalazioni
           Drv_SendResponse();
          // resetta i driver
           Drv_DriverInit();
          // entra in IDLE state per ricevere il prox cmd
           fsmState = IDLE;
     break;
     case ACQUIRE:
          // funzione di acquisizione
           Adc_AcquireTask();
          // verifica se c'è controllo automatico oppure il cmd flag alto
           if(automatic==0||ctrlcmdflag==0)
      fsmState = IDLE;
          //entra in OPER state per eseguire i comandi di controllo
           else fsmState=OPER;
     break;
           }
}
```

Interrupt.c

```
//**************************
// Interrupts.c
// AUTHOR: Dario Califano
// DATE: 07-02-2008
// VERSION: 1.0
// Questo file contiene la routine di interrupt
// Target: PIC16F870
// Tool chain: MPLAB IDE v8.10 - Compiler CCS 4.057
#include "Drivers.h"
#INT TIMER1
// set 1 second timeout
void timer1 isr (void)
{
   timeoutCounter++;
   if (timeoutCounter == TIMEOUT_COUNT)
   {
        uartTimeout = 1;
        STOP_UART_TIMEOUT;
   }
}
#INT_TIMER2
// set 1 second timeout
void timer2_isr (void)
{
   acquireCounter++;
   if (acquireCounter == SAMPLE_TIME_COUNT)
        acquireEnable = 1;
```

```
STOP_SAMPLE_TIMER;
}

#INT_RDA
// RS232 receiving interrupt --> fill cmd buffer
void uart_isr (void)
{
    STOP_UART_TIMEOUT;
    // hold the received byte into the buffer
    cmdBuffer[cmdLen++] = getc();
    START_UART_TIMEOUT;
}
```

Una volta completata la scrittura dei codici di tutte le funzioni e soubroutine del firmware si passa alla fase di compilazione. Dal menù "Project" di MPLAB selezionare la voce Build all, come mostrato nella figura 4-29:

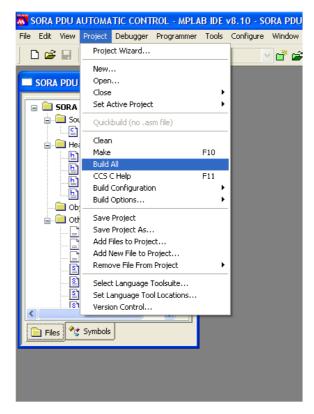


figura 4-29

Il compilatore, dopo aver effettuato la sua analisi, riporta in video il responso, che, nel caso in questione, risulta essere (fig. 4-30):

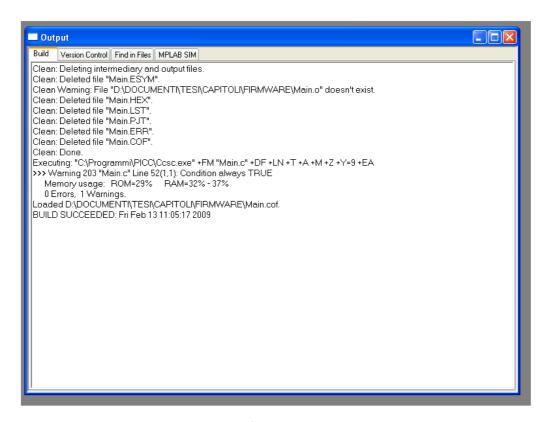


figura 4-30

Il risultato riporta zero errori e un warning. Il warning avverte che nel main c'è una condizione di while che è sempre vera, cosa che era stata voluta in fase di scrittura del codice per ottenere un ciclo infinito nel main.

4.3 TESTING

Ultimata la fase di codifica, per effettuare una prima valutazione della bontà del codice scritto, è possibile effettuare un'operazione antecedente la fase di testing dell'intera PDU. L'ambiente di sviluppo MPLAB mette a disposizione un simulatore, MPLAB SIM, che permette di ricostruire tutte le possibili situazioni e analizzare passo passo, l'evolvere del firmware. Dal menù "Debugger" si sceglie il tool MPLAB SIM, come visualizzato nella figura 4-31.



figura 4-31

A seconda della situazione che si vuole simulare, possono essere inseriti degli input, selezionabili dal menù "Debugger", scegliendo "Stimulus" (fig. 4-32) e osservare il valore di tutti i parametri in ballo nel progetto, selezionando dal menù "View" la voce watch (fig. 4-33).

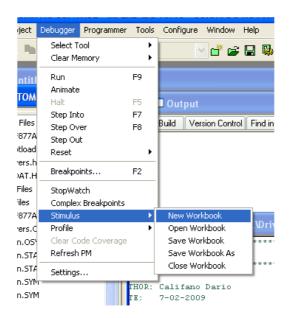


figura 4-32

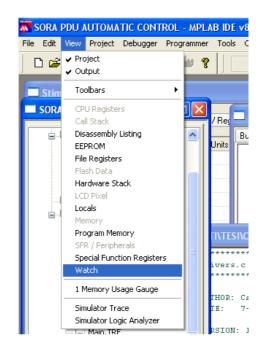


figura 4-33

Verranno testate la funzione di riconoscimento on/off, che a sua volta usufruirà della funzione di attivazione comandi, attivando i comandi di on nel caso in cui il segnale su RB1 sia alto e disattivando tutti i carichi nel caso di segnale su RB1 basso e la funzione di controllo automatico, che, a sua volta, usufruirà della funzione di acquisizione. Per il testing della funzione di attivazione comandi si rimanda al capitolo successivo.

Testing della funzione Drv_OnOffHandling

La prima operazione da effettuare è quella di selezionare come stimulus RB1, scegliendo le configurazioni "Set high" e "Set low", in modo da poter simulare i segnali di on e off (fig. 4-34).

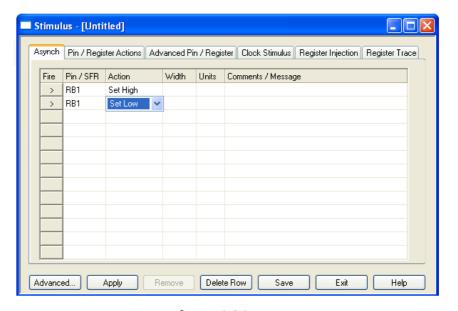


figura 4-34

Come Watch si scelgono PORTB, per valutare il segnale su RB1, PORTD, per accertarsi dell'avvenuta attivazione o spegnimento dei carichi, e la variabile onOffSignal per accertarsi del corretto funzionamento della subroutine (fig. 4-35).

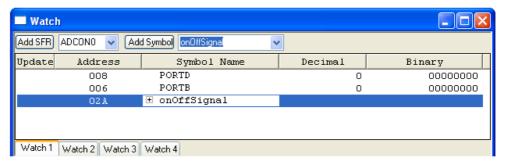


figura 4-35

Risulta comodo inserire un "break point" alla posizione di chiamata della funziona Drv_onOffhandling (fig. 4-36), in modo da poter procedere una istruzione per volta e visionale l'evolvere della funzione.

```
void main (void)
    BYTE result:
    // Initialization
    initialize();
    while (1)
      switch(fsmState)
      case IDLE:
        // check the TTL on/off signal prima di qualsiasi operazione
       Drv_OnOffHandling();
       // cmd received --> RCV controlla a che punto è la ricezione del cmd result = Drv_CmdReceived();
       // result ok --> RCV cmd ricevuto
if (result == RCV_END)
        fsmState = RCV;
        // result error --> errore di ricezione cmd
        else if (result == RCV_ERROR)
        fsmState=SEND;
        break;
```

figura 4-35

Si può, a questo punto, premere il tasto "Run" in modo da avviare la simulazione. Dopo aver inizializzato il sistema, il cursore si ferma al break point. Dalla figura 4-36 si nota che il pin 5 di PORTB è alto, cosa corretta, perché, la funzione di inizializzazione abilita il CS del convertitore n°0, le uscite di PORTD sono tutte low, carichi disabilitati e la variabile onOffSignal è pari a zero, valore di default.



figura 4-36

Utilizzando il comando "Step into", tasto F7, è possibile proseguire la simulazione, analizzando una istruzione per volta. Imponendo il valore high a RB1, dopo l'esecuzione della funzione Drv_OnOffHandling, si avrà (fig.4-37):

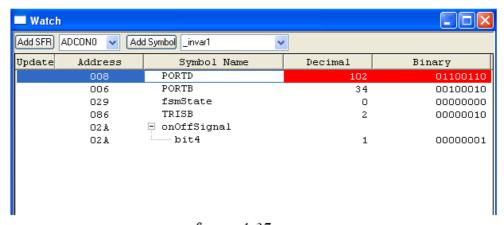


figura 4-37

La funzione risponde come ci si aspettava. Imponendo a questo punto il valore low a RB1, dopo l'esecuzione della funzione Drv_OnOffHandling, la situazione ritornerà a quella di figura 4-36.

Testing della funzione Adc_ControlTask

Prima di effettuare la verifica di correttezza della funzione Adc_ControlTask, verrà eseguita una simulazione per valutare il funzionamento della funzione Adc_AcquireTask, visionando, in particolare, la parte di codice che effettua la scelta del canale di acquisizione in funzione dell'abilitazione o meno del carico, riferito al canale di acquisizione in esame. In primo luogo, si manterranno disabilitati tutti i carichi. In questo modo la funzione dovrà acquisire solo la tensione Vin della batteria. Le variabili da monitorare sono:

- PORTD, per verificare quali carichi sono attivi.
- FsmState, indicante l'etichetta del "case di acquisizione".
- Channel2acquire, canale di acquisizione.
- Channelflag, abilitazione all'acquisizione.
- AcquiredData2sent, buffer contenente la media, su quattro campioni, del risultato dell'acquisizione.

Dopo il primo controllo su channel2acquire=0, la situazione è la seguente (fig. 4-38):



Il canale è stato aggiornato e non è stata abilitata l'acquisizione, tutto come ci si aspettava. Dopo il controllo su channel2acquire=1 si ha (fig. 4-39):

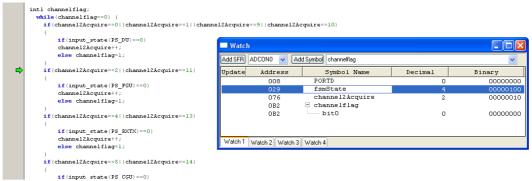


figura 4-39

Verifica positiva. Anche il controllo su gli altri canali è risultato positivo, per evitare ripetizioni verrà riportato solo la situazione inerente a channel2acquire=8, canale corrispondente all'acquisizione della tensione di ingresso (fig.4-40).

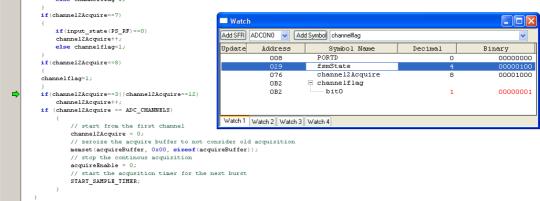


figura 4-40

In questo caso è stata abilitata l'acquisizione, come ci si aspettava. Dopo aver acquisito, per quattro volte, il segnale sullo stesso canale e averne effettuato la media, si può valutare la funzione di controllo, Adc_ControlTask. Si è deciso di simulare una situazione di cortocircuito, quindi il valore acquisito sarà pari a zero (fig.4-41).

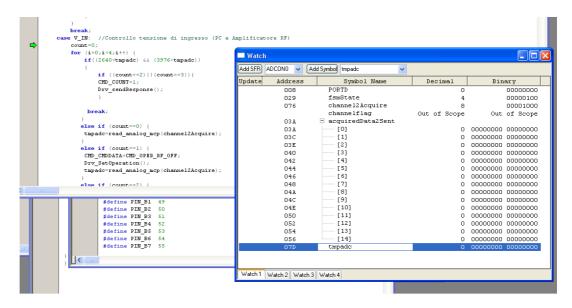


figura 4**-**41

Come si vede in figura 4-41 il valore acquisito al canale numero otto è pari a zero (variabile tmpado oppure posizione otto di acquiredData2Sent). Per prima cosa, il programma confronterà il valore acquisito con il range aspettato, nel caso in esame il valore non è quello aspettato e per prima cosa si effettua una nuova acquisizione di verifica (fig.4-42).

```
break;
case V_IN: //Controllo tensione di ingresso (PC e Amplificatore RF)
count=0;
for (i=0;i<4;i++) {
    if((2640<tmpadc) && (3976>tmpadc))
    {
        if ((count==2)||(count==3)){
            CMD_COUNT=1;
            Drv_sendResponse();
        }
        break;
    }
    else if (count==0) {
        tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
    }
    else if (count==1) {
        CMD_CMDDATA=CMD_OPER_RF_OFF;
        Drv_SetOperation();
        tmpadc=read_analog_mcp(channel2Acquire);
    }
    else if (count==2) {
```

figura 4-42

Terminata l'acquisizione di verifica, riscontrando il perdurare del problema, per prima cosa il programma disabilita il carico Amplificatore RF, che, nel caso in esame, è già spento ed effettua nuovamente l'acquisizione (fig. 4-43).

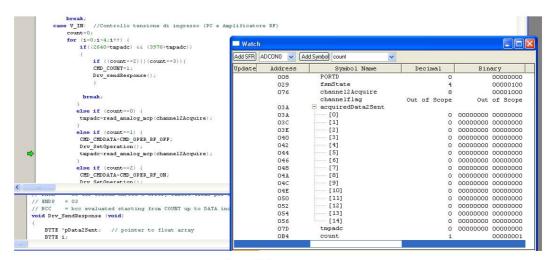


figura 4-43

A questo punto, continuando a persistere il problema, il codice prevede lo spegnimento del carico PC di bordo, la riattivazione del carico Amplificatore RF ed una nuova acquisizione di verifica (fig. 4-44).

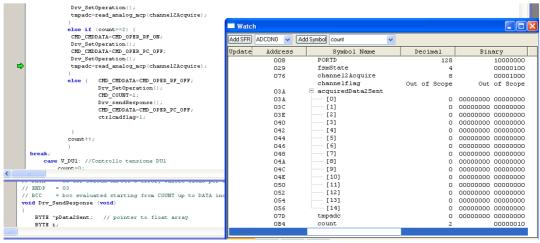


figura 4-44

Se il problema dovesse perdurare, sarà disabilitato anche il carico Amplificatore RF (fig. 4-45).

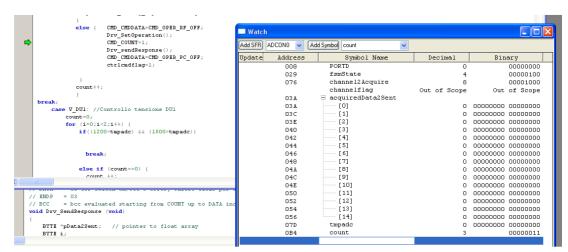


figura 4-45

Simulando una situazione di acquisizione corretta, verrà impostato un risultato dell'acquisizione rientrante nel range di validità del valore imposto dal canale in esame, che, per poter confrontare le due situazioni di anomalia e non, sarà, anche in questo caso, il canale numero otto (fig. 4-46).

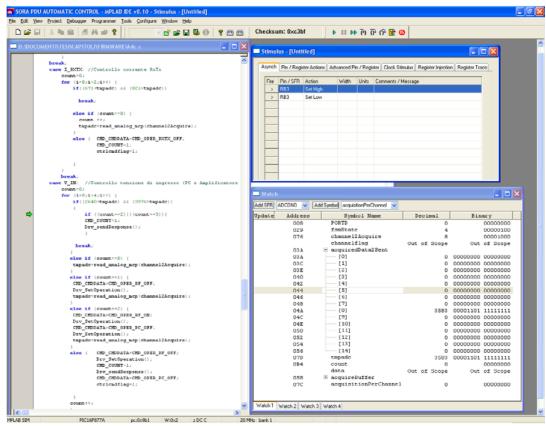


figura 4-46

In questo caso, il codice non disattiva alcun carico, essendo il valore di acquisizione pari a quello aspettato. A conclusione della fase di testing del firmware, si precisa che i risultati, riportati in questo paragrafo, sono solo un estratto di tutte le simulazioni effettuate con MPLAB SIM. Si è pensato di riportare, per brevità di notazione, solo i passaggi più significativi. Il firmware, nella fase di simulazione, ha risposto come ci si aspettava.

CAPITOLO 5 COLLAUDO

5.1 Strumenti di collaudo

Il collaudo resta l'ultima operazione da fare per il completamento del progetto e prima dell'installazione. Verificare il funzionamento del sistema, valutando se il firmware risponde ai comandi voluti e le tensioni e correnti della PDU rispettano le specifiche, è un passaggio fondamentale per la consegna di un dispositivo che possa garantire buoni margini di affidabilità. Per realizzare la procedura di collaudo, riportata nel paragrafo successivo, gli strumenti necessari saranno:

- PC, con sistema operativo Windows XP o superiore, dotato di porta seriale per la comunicazione RS232.
- Programmatore per PIC.
- Ambiente di sviluppo ICPROG 1.05D.
- Alimentatore stabilizzato per l'alimentazione dell'intero circuito.
- Multimetro per effettuare le misure.
- Alimentatore stabilizzato per simulare i segnali di on/off.
- Resistori di potenza per la simulazione dei carichi.
- Cavi di collegamento e ventola di raffreddamento.

Il PC, come anticipato in precedenza, serve per realizzare la comunicazione seriale RS232. Per fare ciò, si utilizza il programma HyperTerminal. Una volta lanciato il programma, bisogna procedere alla sua configurazione. La prima operazione è dare un nome alla comunicazione, come visualizzato nella figura 5-1.



figura 5-1

Selezionare la porta adibita alla comunicazione, in questo caso COM1(fig. 5-2).



figura 5-2

Impostare le caratteristiche della comunicazione (fig. 5-3).

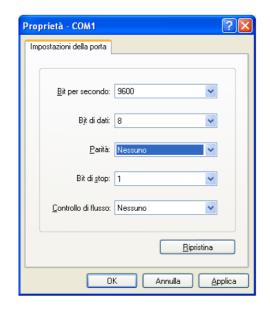


figura 5-3

Il tipo di programmatore per PIC realizzato è il proPic 2, il cui schema circuitale è riportato nella figura 5-4.

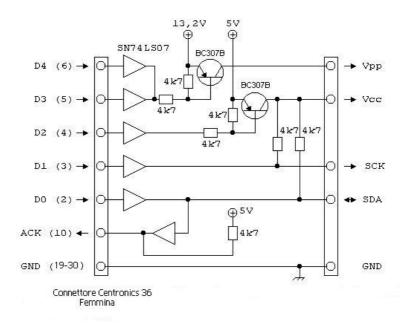


figura 5-4

Il circuito realizzato si presenta come in figura 5-5.

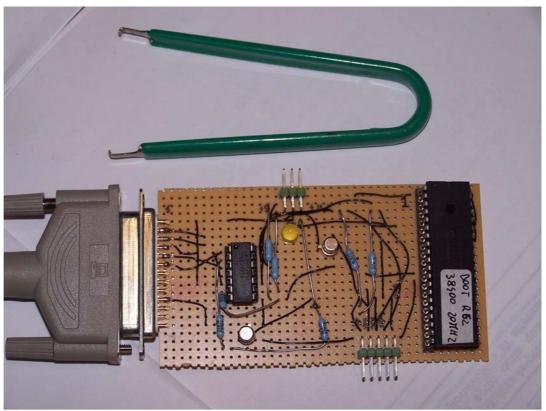


figura 5-5

Il software per caricare il firmware sul PIC16F877A è l'ICPROG 1.05D. Per la configurazione del programma vanno selezionate le caratteristiche dell'hardware in questione (fig.5-6).

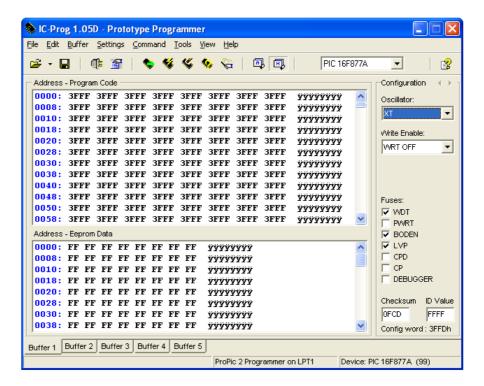


figura 5-6

Il multimetro utilizzato è il Fluke 115.

5-5

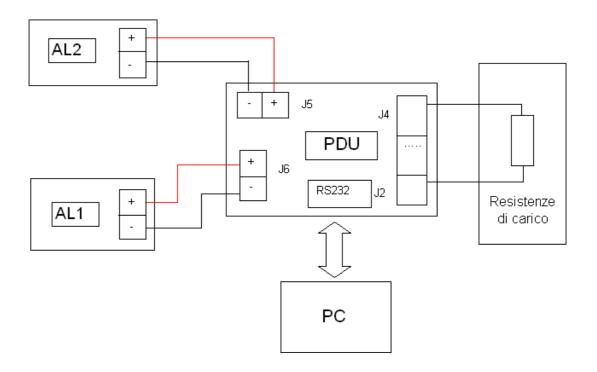
Le caratteristiche dei due alimentatori sono:

- 1. Alimentatore stabilizzato regolabile 0-30 volt, 0-15 ampere ELIND KL200 6/15.
- 2. Alimentatore stabilizzato Siemens 5V-100mA.

I resistori di carico scelti saranno di 0.22Ω e 50W.

5.2 Procedura di Collaudo

SET UP di Collaudo



Apparecchiature

- 1. PC con sistema operativo Windows XP e disponibilità di una porta seriale per comunicazione con protocollo RS232.
- 2. Programmatore proPIC 2 e ambiente di sviluppo ICPROG versione 1.05D.
- 3. Multimetro, Fluke 115 o equivalente, denominato DVM.
- 4. Alimentatore stabilizzato regolabile 0-30 volt, 0-15 ampere ELIND KL200 6/15 o equivalente, denominato AL1.
- 5. Alimentatore stabilizzato 5V–100mA, denominato AL2.
- 6. N°8 Resistori di potenza da 0.22Ω , 50W, denominati R1,...R8.
- 7. Ventola di raffreddamento.

Procedura

- 1. Effettuare il caricamento del Firmware sul PIC16F877A utilizzando l'apparecchiatura di sviluppo come al rif. 2 (Apparecchiature).
- 2. Montare il PIC sul circuito di prova, innestandolo sullo Zoccolo identificato con U5.
- 3. Regolare l'alimentatore per erogare una tensione di 24 volt 4A, senza collegarlo all'apparato.
- 4. Spegnere l'alimentatore.
- 5. Configurare HyperTerminal ad inviare i comandi su COM1, 9600,n,8,1
- 6. Collegare R1 tra il pin 3 ed il pin 5 della morsettiera J4.
- 7. Collegare R2 tra il pin 4 ed il pin 5 della morsettiera J4.

- 8. Collegare R2 tra il pin 6 ed il pin 10 della morsettiera J4.
- 9. Collegare R1 tra il pin 7 ed il pin 10 della morsettiera J4.
- 10. Collegare R1 tra il pin 8 ed il pin 12 della morsettiera J4.
- 11. Collegare R1 tra il pin 9 ed il pin 12 della morsettiera J4.
- 12. Collegare R1 tra il pin 11 ed il pin 14 della morsettiera J4.
- 13. Collegare R1 tra il pin 13 ed il pin 14 della morsettiera J4.
- 14. Collegare il morsetto positivo di AL1 ai pin 1 e 2 del connettore J6 ed il morsetto negativo ai pin 3 e 4 del connettore J6.
- 15. Collegare il morsetto Positivo di AL2 al pin 2 di J5 ed il morsetto negativo al pin 1 di J5.

Stato off

- 16. Accendere AL2.
- 17. Accendere AL1.
- 18. Cortocircuitare i pin 1 e 2 del connettore J1 per meno di un secondo.
- 19. Verificare che la tensione letta ai capi del condensatore C29 sia di $5V \pm 10 \text{mV}$.
- 20. Verificare che la tensione letta tra i pin 1 ed il pin 8 (con il negativo sul pin 8) del connettore J7 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 21. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 1) del connettore J5 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 22. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del connettore J6 sia di $24V \pm 50mV$.

Attivazione Relè a stato solido

- 23. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 24. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50mV$.
- 25. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 26. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50mV$.
- 27. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 28. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 29. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50mV$.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 30. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 31. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 32. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 33. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50$ mV.

34. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

- 35. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 36. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 37. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 38. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 39. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 40. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure corrente

- 41. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 42. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 43. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 44. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 45. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 46. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 47. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni di uscita

- 48. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 49. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 50. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 51. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 52. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 53. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 54. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 55. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

Stato on

Attivazione Relè a stato solido

- 56. Spegnere AL2.
- 57. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 58. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 59. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50mV$.
- 60. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50mV$.
- 61. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 62. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 63. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input DC-DC

- 64. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $24V \pm 50 \text{mV}$.
- 65. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 66. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $24V \pm 50$ mV.

- 67. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 68. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $24V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

- 69. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 70. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.1V \pm 50$ mV.
- 71. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.67V \pm 50mV$.
- 72. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 73. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 74. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.67V \pm 50mV$.

Tensioni Input Misure corrente

- 75. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.72V \pm 50mV$.
- 76. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.72V \pm 50mV$.
- 77. Verificare che la tensione letta (I2) tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.72V \pm 50mV$.

- 78. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 79. Verificare che la tensione (I5)letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di 0.72V ± 50mV.
- 80. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.72V \pm 50mV$.
- 81. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

- 82. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $3.3V \pm 50$ mV.
- 83. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 84. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 85. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 86. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 87. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 88. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 89. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

Comando START SAR da seriale (tutti i carichi attivi)

90. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x53, (tutti i carichi attivi).

Attivazione Relè a stato solido

- 91. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 92. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 93. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 94. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 95. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 96. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 97. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $5V \pm 50$ mV.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 98. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $24V \pm 50 \text{mV}$.
- 99. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 100. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $24V \pm 50$ mV.

- 101. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 102. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $24V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

- 103. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 104. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.1V \pm 50$ mV.
- 105. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.67V ± 50mV.
- 106. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 107. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 108. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.67V \pm 50mV$.

- 109. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.45V \pm 50mV$.
- 110. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.45V \pm 50mV$.
- 111. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.45V \pm 50mV$.

- 112. Verificare che la tensione (I3) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.45V \pm 50mV$.
- 113. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.45V \pm 50mV$.
- 114. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.45V \pm 50mV$.
- 115. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.15V \pm 50mV$.

Tensioni di uscita

- 116. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $3.3V \pm 50$ mV.
- 117. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 118. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 119. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 120. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 121. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 122. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $24V \pm 50 \text{mV}$.
- 123. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $24V \pm 50$ mV.

Comando STOP SAR da seriale (tutti i carichi spenti)

124. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x54, (tutti i carichi spenti).

Attivazione Relè a stato solido

- 125. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 126. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 127. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 128. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50mV$.
- 129. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 130. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 131. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 132. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 133. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 134. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 135. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 136. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

- 137. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 138. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 139. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 140. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 141. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 142. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 143. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 144. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 145. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 146. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 147. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 148. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 149. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni di uscita

- 150. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 151. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50mV$.
- 152. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 153. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 154. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 155. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 156. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 157. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 158. Spegnere AL1.
- 159. Scollegare i morsetti positivo e negativo di AL1 dai connettore J6.
- 160. Regolare AL1 a 24V, 1A.
- 161. Collegare il morsetto positivo di AL1 ai pin 1 e 2 del connettore J6 ed il morsetto negativo ai pin 3 e 4 del connettore J6.
- 162. Accendere AL1.

Comando DU ON da seriale (carichi DU1 e DU2 attivi)

163. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x41, (carichi DU1 e DU2 attivi).

- 164. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 165. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 166. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 167. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50mV$.
- 168. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 169. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 170. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 171. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 172. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 173. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 174. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 175. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

- 176. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 177. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.1V \pm 50$ mV.
- 178. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.67V \pm 50mV$.
- 179. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 180. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 181. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 182. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.45V \pm 50mV$.
- 183. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di 0.45V ± 50mV.
- 184. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 185. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 186. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 187. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 188. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni di uscita

- 189. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $3.3V \pm 50$ mV.
- 190. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 191. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 192. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 193. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 194. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 195. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 196. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

Comando DU OFF da seriale (carichi DU1 e DU2 spenti)

197. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x49, (carichi DU1 e DU2 spenti).

- 198. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 199. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 200. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 201. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50mV$.
- 202. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 203. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

204. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 205. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 206. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 207. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 208. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 209. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

- 210. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 211. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 212. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 213. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 214. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

215. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure corrente

- 216. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 217. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 218. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 219. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 220. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 221. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 222. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni di uscita

- 223. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 224. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 225. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 226. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 227. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 228. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 229. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 230. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

Comando FGU ON da seriale (carico FGU attivo)

231. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x42, (carico FGU attivo).

- 232. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 233. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 234. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 235. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 236. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 237. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 238. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50mV$.

- 239. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 240. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 241. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $24V \pm 50 \text{mV}$.
- 242. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 243. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

- 244. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 245. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 246. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 247. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 248. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 249. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 250. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 251. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 252. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di 0.9 ± 50 mV.
- 253. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 254. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 255. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 256. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

- 257. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 258. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 259. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 260. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 261. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 262. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 263. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 264. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

Comando FGU OFF da seriale (carico FGU spento)

265. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x4A, (carico FGU spento).

- 266. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 267. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 268. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 269. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 270. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 271. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 272. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50mV$.

- 273. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 274. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50mV$.
- 275. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 276. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50mV$.
- 277. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

- 278. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 279. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 280. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 281. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 282. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 283. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 284. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 285. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 286. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 287. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 288. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 289. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 290. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

291. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 292. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 293. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 294. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 295. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 296. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 297. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 298. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

Comando SWRF ON da seriale (carico SWRF attivo)

299. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x43, (carico SWRF attivo).

- 300. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 301. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 302. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $5V \pm 50$ mV.

- 303. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 304. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 305. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 306. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50mV$.

- 307. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 308. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 309. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 310. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 311. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

- 312. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 313. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 314. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 315. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 316. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 317. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 318. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 319. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 320. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 321. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 322. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 323. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 324. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni di uscita

- 325. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 326. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 327. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 328. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 329. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 330. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 331. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 332. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.

Comando SWRF OFF da seriale (carico SWRF spento)

333. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x4B, (carico SWRF spento).

- 334. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 335. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 336. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 337. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 338. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 339. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 340. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 341. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 342. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 343. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 344. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 345. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

346. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 347. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 348. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 349. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 350. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 351. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 352. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 353. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 354. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 355. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 356. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 357. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 358. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

- 359. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 360. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 361. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 362. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 363. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 364. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 365. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 366. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando RxTx ON da seriale (carico RxTx attivo)

367. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x44, (carico RxTx attivo).

- 368. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 369. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 370. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 371. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 372. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 373. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 374. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 375. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 376. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 377. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 378. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $24V \pm 50 \text{mV}$.
- 379. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

380. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 381. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 382. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 383. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 384. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 385. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 386. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 387. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 388. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 389. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 390. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 391. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 392. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

- 393. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 394. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 395. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 396. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 397. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 398. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 399. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 400. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando RxTx OFF da seriale (carico RxTx spento)

401. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x4C, (carico RxTx spento).

- 402. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 403. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 404. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50mV$.
- 405. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 406. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 407. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 408. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 409. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 410. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 411. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 412. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 413. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

414. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 415. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 416. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 417. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 418. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 419. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 420. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 421. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 422. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 423. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 424. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 425. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 426. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

- 427. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 428. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 429. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 430. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 431. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 432. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 433. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 434. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando CGU ON da seriale (carico CGU attivo)

435. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x45, (carico CGU spento).

- 436. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 437. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 438. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50mV$.
- 439. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 440. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 441. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 442. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 443. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 444. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50mV$.
- 445. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 446. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 447. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $24V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

448. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 449. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 450. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 451. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 452. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 453. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.67V \pm 50mV$.

- 454. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 455. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 456. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 457. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 458. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 459. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 460. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

- 461. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 462. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 463. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 464. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 465. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 466. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 467. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 468. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando CGU OFF da seriale (carico CGU spento)

469. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x4D, (carico CGU spento).

- 470. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 471. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 472. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 473. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 474. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 475. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 476. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 477. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 478. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 479. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 480. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 481. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

482. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 483. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 484. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 485. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 486. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 487. Verificare che la tensione V6letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 488. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 489. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 490. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 491. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 492. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 493. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 494. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 495. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 496. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 497. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 498. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 499. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 500. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 501. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 502. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando PC ON da seriale (carico PC attivo)

503. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x46, (carico PC attivo).

Attivazione Relè a stato solido

- 504. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 505. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 506. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 507. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 508. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 509. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 510. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 511. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 512. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 513. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 514. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 515. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

516. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 517. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 518. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 519. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 520. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 521. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure corrente

- 522. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 523. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 524. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 525. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 526. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 527. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 528. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 529. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 530. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 531. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 532. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 533. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 534. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 535. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $24V \pm 50$ mV.
- 536. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando PC OFF da seriale (carico PC spento)

537. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x4E, (carico PC spento).

Attivazione Relè a stato solido

- 538. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 539. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 540. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 541. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 542. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 543. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 544. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 545. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 546. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 547. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 548. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 549. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

550. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 551. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 552. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 553. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 554. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 555. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure corrente

- 556. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 557. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 558. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 559. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 560. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 561. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 562. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 563. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 564. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 565. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 566. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 567. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 568. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 569. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 570. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando RF ON da seriale (carico Amp. RF attivo)

571. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x47, (carico Amp. RF attivo).

Attivazione Relè a stato solido

- 572. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 573. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 574. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 575. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 576. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 577. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 578. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $5V \pm 50$ mV.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 579. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 580. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 581. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 582. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 583. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure Tensione

584. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 585. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 586. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 587. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 588. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 589. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input Misure corrente

- 590. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 591. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 592. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 593. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 594. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 595. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 596. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.

- 597. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 598. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 599. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 600. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 601. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 602. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 603. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 604. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $24V \pm 50$ mV.

Comando RF OFF da seriale (carico Amp. RF spento)

605. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x4F, (carico Amp. RF spento).

Attivazione Relè a stato solido

- 606. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $0V \pm 50mV$.
- 607. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 608. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 609. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 610. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 611. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 612. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 613. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 614. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 615. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 616. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 617. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

618. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.

- 619. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 620. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 621. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 622. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 623. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure corrente

- 624. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 625. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 626. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 627. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 628. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 629. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 630. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 631. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 632. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 633. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 634. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 635. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 636. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 637. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 638. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Comando SPARE ON da seriale (comando supplemetare ON)

- 639. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x48, (comando suppl. attivo).
- 640. Verificare che la tensione letta tra il pin 18 ed il pin 1 (con il negativo sul pin 1) del componente U6 sia di $5V \pm 50$ mV.

Comando SPARE OFF da seriale (comando supplemetare OFF)

641. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x50, (comando suppl. spento).

642. Verificare che la tensione letta tra il pin 18 ed il pin 1 (con il negativo sul pin 1) del componente U6 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensione di ingresso 20V

- 643. Spegnere AL1.
- 644. Scollegare i morsetti positivo e negativo di AL1 dai connettore J6.
- 645. Regolare AL1 a 20V, 8A.
- 646. Collegare il morsetto positivo di AL1 ai pin 1 e 2 del connettore J6 ed il morsetto negativo ai pin 3 e 4 del connettore J6.
- 647. Accendere AL1.
- 648. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del connettore J6 sia di $20V \pm 50mV$.
- 649. Verificare che la tensione letta ai capi del condensatore C29 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 650. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x53, (START SAR).

Attivazione Relè a stato solido

- 651. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 652. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 653. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 654. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $5V \pm 50$ mV.

- 655. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 656. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 657. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $5V \pm 50$ mV.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 658. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $20V \pm 50mV$.
- 659. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $20V \pm 50mV$.
- 660. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $20V \pm 50mV$.
- 661. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $20V \pm 50mV$.
- 662. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $20V \pm 50mV$.

Tensioni Input Misure Tensione

- 663. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 3.34V ± 50mV.
- 664. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.1V ± 50mV.
- 665. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.67V ± 50mV.

- 666. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 667. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 668. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.67V ± 50mV.

Tensioni Input Misure corrente

- 669. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 670. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 671. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 672. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 673. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 674. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 675. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.3V \pm 50$ mV.

Tensioni di uscita

676. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $3.3V \pm 50mV$.

- 677. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 678. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 679. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $20V \pm 50 \text{mV}$.
- 680. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 681. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 682. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di 20V ± 50mV.
- 683. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di 20V ± 50mV.

Tensione di ingresso 28V

- 684. Spegnere AL1.
- 685. Scollegare i morsetti positivo e negativo di AL1 dai connettore J6.
- 686. Regolare AL1 a 28V, 8A.
- 687. Collegare il morsetto positivo di AL1 ai pin 1 e 2 del connettore J6 ed il morsetto negativo ai pin 3 e 4 del connettore J6.
- 688. Accendere AL1.
- 689. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del connettore J6 sia di $28V \pm 50$ mV.

- 690. Verificare che la tensione letta ai capi del condensatore C29 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 691. Inviare con Hyper Terminal il comando 0x53, (START SAR).

Attivazione Relè a stato solido

- 692. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 693. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 694. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 695. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 696. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 697. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 698. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $5V \pm 50$ mV.

Tensioni Input DC/DC Converter

- 699. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia di $28V \pm 50$ mV.
- 700. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia di $28V \pm 50mV$.

- 701. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia di $28V \pm 50 \text{mV}$.
- 702. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $28V \pm 50 \text{mV}$.
- 703. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia di $28V \pm 50$ mV.

Tensioni Input Misure Tensione

- 704. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 4.67V ± 50mV.
- 705. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.1V ± 50mV.
- 706. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.67V ± 50mV.
- 707. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 708. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 709. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.67V ± 50mV.

Tensioni Input Misure corrente

- 710. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 711. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50$ mV.

- 712. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 713. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50$ mV.
- 714. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 715. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 716. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.3V \pm 50$ mV.

- 717. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $3.3V \pm 50$ mV.
- 718. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 719. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50 \text{mV}$.
- 720. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $28V \pm 50$ mV.
- 721. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 722. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 723. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $28V \pm 50$ mV.

724. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $28V \pm 50$ mV.

Variazione della tensione di ingresso tra 16 volt e 28 volt a corrente costante (5A)

- 725. Accendere AL2
- 726. Regolare l'alimentatore AL1 a 16 volt, 1A
- 727. Verificare che la tensione letta ai capi della resistenza R22 sia di $2,67V \pm 50 \text{mV}$.
- 728. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) U13 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 729. Verificare che la tensione letta ai capi del condensatore C29 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 730. Incrementare la tensione di AL1 a passi di 500 mV fino a misurare una tensione di $5\text{V} \pm 50 \text{mV}$ ai capi del condensatore C29 e annotare la tensione erogata da AL1.

Stato di on

Attivazione Relè a stato solido

- 731. Spegnere AL2
- 732. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL1 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 733. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL2 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 734. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL3 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

- 735. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 736. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL5 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 737. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL6 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 738. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 4 (con il negativo sul pin 4) del componente RL7 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Tensioni Input DC-DC

- 739. Verificare che la tensione letta tra il pin 22 ed il pin 3 (con il negativo sul pin 3) del componente U1 sia pari alla tensione di cui al passo 730 ± 50 mV.
- 740. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U7 sia pari alla tensione di cui al passo 730 ± 50 mV.
- 741. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U8 sia pari alla tensione di cui al passo 730 ± 50 mV.
- 742. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U14 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 743. Verificare che la tensione letta tra il pin 1 ed il pin 2 (con il negativo sul pin 2) del componente U16 sia pari alla tensione di cui al passo 730 ± 50 mV.

Tensioni Input Misure Tensione

- 744. Verificare che la tensione V0 letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50 \text{mV}$.
- 745. Verificare che la tensione V1 letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $1.1V \pm 50 \text{mV}$.

- 746. Verificare che la tensione V2 letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.67V ± 50mV.
- 747. Verificare che la tensione V3 letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $4V \pm 50$ mV.
- 748. Verificare che la tensione V5 letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 749. Verificare che la tensione V6 letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U13 sia di 1.67V ± 50mV.

Tensioni Input Misure corrente

- 750. Verificare che la tensione (I0) letta tra il pin 1 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50$ mV.
- 751. Verificare che la tensione (I1) letta tra il pin 2 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 752. Verificare che la tensione (I2) letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 753. Verificare che la tensione (I4) letta tra il pin 5 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.
- 754. Verificare che la tensione (I5) letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 755. Verificare che la tensione (I6) letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0.9V \pm 50mV$.
- 756. Verificare che la tensione (I7) letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del componente U12 sia di $0V \pm 50$ mV.

- 757. Verificare che la tensione letta tra il pin 3 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $3.3V \pm 50$ mV.
- 758. Verificare che la tensione letta tra il pin 4 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50 \text{mV}$.
- 759. Verificare che la tensione letta tra il pin 6 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $12V \pm 50$ mV.
- 760. Verificare che la tensione letta tra il pin 7 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 761. Verificare che la tensione letta tra il pin 8 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.
- 762. Verificare che la tensione letta tra il pin 9 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $5V \pm 50$ mV.
- 763. Verificare che la tensione letta tra il pin 11 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia pari alla tensione di cui al passo 730 ± 50 mV.
- 764. Verificare che la tensione letta tra il pin 13 ed il pin 14 (con il negativo sul pin 14) del connettore J4 sia di $0V \pm 50 \text{mV}$.

Compilazione Rapporto di collaudo

| TABELLA 5-Xa | | | | | |
|---------------|----------------------|-----------------|------------|------|--|
| | Rapporto di collaudo | | | | |
| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note | |

| 19 | $5V \pm 50mV$ | 4.980V | Positivo |
|----|-----------------------|----------|----------|
| 20 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 21 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 22 | $24V \pm 50mV$ | 24.010V | Positivo |
| 23 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 24 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 25 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 26 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 27 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 28 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 29 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 30 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 31 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 32 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 33 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 34 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 35 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.990V | Positivo |
| 36 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 37 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 38 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 39 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 40 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 41 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 42 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| | TABE | LLA 5-Xb | <u>.</u> |

TABELLA 5-Xb

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 43 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 44 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 45 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|----|------------------------|---------|----------|
| 46 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 47 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 48 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 49 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 50 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 51 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 52 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 53 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 54 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 55 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 57 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 58 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 59 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 60 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 61 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 62 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 63 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 64 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 24.010V | Positivo |
| 65 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 24.010V | Positivo |
| 66 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 24.010V | Positivo |
| 67 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 68 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 24.01V | Positivo |
| 69 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.990 | Positivo |
| | ı | | 1 |

TABELLA 5-Xc

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------|------|
| 70 | $1.1V \pm 50 \text{mV}$ | 1.090V | Positivo | |
| 71 | $1.67V \pm 50 \text{mV}$ | 1.660V | Positivo | |

| 72 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.990V | Positivo |
|----|--------------------------|---------|----------|
| 73 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 74 | $1.67V \pm 50 \text{mV}$ | 1.675V | Positivo |
| 75 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.890V | Positivo |
| 76 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.910V | Positivo |
| 77 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.905V | Positivo |
| 78 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 79 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.895V | Positivo |
| 80 | $0.45V \pm 50mV$ | 0.44V | Positivo |
| 81 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 82 | $3.3V \pm 50 \text{mV}$ | 3.300V | Positivo |
| 83 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| 84 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 12.010V | Positivo |
| 85 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 86 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 87 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.99V | Positivo |
| 88 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.999V | Positivo |
| 89 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 91 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 92 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| 93 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| 94 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| 95 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| 96 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| | | L | <u> </u> |

TABELLA 5-Xd Rapporto di collaudo

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|------------------------|-----------------|------------|------|
| 97 | $5V \pm 50mV$ | 4.990V | Positivo | |
| 98 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.950V | Positivo | |

| 99 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.950V | Positivo |
|-----|--------------------------|------------------|----------|
| 100 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.950V | Positivo |
| 101 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.950V | Positivo |
| 102 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.950V | Positivo |
| 103 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.010V | Positivo |
| 104 | $1.1V \pm 50 \text{mV}$ | 1.102V | Positivo |
| 105 | $1.67V \pm 50 \text{mV}$ | 1.675V | Positivo |
| 106 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.998V | Positivo |
| 107 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.998V | Positivo |
| 108 | $1.67V \pm 50mV$ | 1.675V | Positivo |
| 109 | $0.45V \pm 50mV$ | 0.453V | Positivo |
| 110 | $0.45V \pm 50mV$ | 0.453V | Positivo |
| 111 | $0.45V \pm 50mV$ | 0.453V | Positivo |
| 112 | $0.45V \pm 50mV$ | 0.454V | Positivo |
| 113 | $0.45V \pm 50mV$ | 0.456V | Positivo |
| 114 | $0.45V \pm 50mV$ | 0.453V | Positivo |
| 115 | $0.15V \pm 50mV$ | 0.152V | Positivo |
| 116 | $3.3V \pm 50mV$ | 3.290V | Positivo |
| 117 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| 118 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 11.980V | Positivo |
| 119 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.982V | Positivo |
| 120 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 11.985V | Positivo |
| 121 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.990V | Positivo |
| 122 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.983V | Positivo |
| | TABEI | LLA 5-Xe | I |
| | Rapporto | di collaudo | |
| | | 7-1 N /24 | T- 4 |

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|----------------|-----------------|------------|------|
| 123 | $24V \pm 50mV$ | 23.998V | Positivo | |
| 125 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 126 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|-----------|----------|
| 127 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 128 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 129 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 130 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 131 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 132 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 133 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 134 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 135 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 136 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 137 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.997V | Positivo |
| 138 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 139 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 140 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 141 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 142 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 143 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 144 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 145 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 146 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 147 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 148 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 149 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| | TADF | IIIA 5 Vf | l l |

TABELLA 5-Xf

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 150 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 151 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| di Test | Note |
|---------|----------|
| | |
| | |
| 81 | · · |
| 80 | |
| 79 | |
| 78 1 | |
| 77 | · |
| 76 | |
| 75 | |
| 74 | |
| 73 | |
| 72 | |
| 71 | |
| 70 | |
| 69 | |
| 68 | |
| 67 | |
| 66 | |
| 65 | |
| 64 | |
| 57 | |
| 56 | <u> </u> |
| 55 | <u> </u> |
| 54 | <u> </u> |
| 53 | |
| 54 | |

183

 $0.45V \pm 50mV$

0.442V

Positivo

| 184 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-------------------------|--------|----------|
| 185 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 186 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 187 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 188 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 189 | $3.3V \pm 50 \text{mV}$ | 3.304V | Positivo |
| 190 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.997V | Positivo |
| 191 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 192 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 193 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 194 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 195 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 196 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 198 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 199 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 200 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 201 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 202 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 203 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 204 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 205 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 206 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 207 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 208 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | | • | |

TABELLA 5-Xh

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|-----------------------|-----------------|------------|------|
| 209 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 210 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.987V | Positivo | |

| 211 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|--------|----------|
| 212 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 213 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 214 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 215 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 216 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 217 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 218 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 192 | $0V \pm 50 mV$ | 0V | Positivo |
| 193 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 194 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 222 | $0V \pm 50 mV$ | 0V | Positivo |
| 223 | $0V \pm 50 mV$ | 0V | Positivo |
| 224 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 225 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 226 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 227 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 228 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 229 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 230 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 232 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 233 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.985V | Positivo |
| 234 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 235 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | | | <u> </u> |

TABELLA 5-Xi

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 236 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 237 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 238 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-------------------------|---------|----------|
| 239 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 240 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 241 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.987V | Positivo |
| 242 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 243 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 244 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.986V | Positivo |
| 245 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 246 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 247 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.005V | Positivo |
| 248 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 249 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 250 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 251 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 252 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.878V | Positivo |
| 253 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 254 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 255 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 256 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 257 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 258 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 259 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 11.985V | Positivo |
| 260 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 261 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | 1 | | <u> </u> |

TABELLA 5-Xj

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 262 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 263 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 264 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|--------|----------|
| 266 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 267 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 268 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 269 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 270 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 271 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 272 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 273 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 274 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 275 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 276 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 277 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 278 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.999V | Positivo |
| 279 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 280 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 281 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 282 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 283 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 284 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 285 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 286 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 287 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 288 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| - | ı | | 1 |

TABELLA 5-Xk

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 289 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 290 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 291 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|--------|----------|
| 292 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 293 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 294 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 295 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 296 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 297 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 298 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 300 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 301 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 302 | $5V \pm 50mV$ | 4.987V | Positivo |
| 303 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 304 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 305 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 306 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 307 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 308 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 309 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 310 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 311 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 312 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 313 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 314 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 315 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| i | | | |

TABELLA 5-Xl

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 316 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 317 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 318 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|------------------------|---------|----------|
| 319 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 320 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 321 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 322 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 323 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 324 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 325 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 326 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 327 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 328 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 24.005V | Positivo |
| 329 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 330 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 331 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 332 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 334 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 335 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 336 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 337 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 338 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 339 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 340 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 341 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 342 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | <u> </u> | | |

TABELLA 5-Xm

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 343 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 344 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 345 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|----------|----------|
| 346 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.987V | Positivo |
| 347 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 348 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 349 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 350 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 351 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 352 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 353 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 354 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 355 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 356 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 357 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 358 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 359 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 360 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 361 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 362 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 363 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 364 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 365 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 366 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 368 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 369 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | 1 | <u> </u> | |

TABELLA 5-Xn

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 370 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 371 | $5V \pm 50mV$ | 4998V | Positivo | |

| 372 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-------------------------|---------|----------|
| 373 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 374 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 375 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 376 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 377 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 378 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.985V | Positivo |
| 379 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 353 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 380 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.988V | Positivo |
| 381 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 382 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 383 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 384 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.987V | Positivo |
| 385 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 386 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 387 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 388 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 389 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.905V | Positivo |
| 390 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 391 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 392 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 393 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 394 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |

TABELLA 5-Xo

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 395 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 396 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 397 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 12.005V | Positivo |
|-----|------------------------|---------|----------|
| 398 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 399 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 400 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 402 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 403 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 404 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 405 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 406 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 407 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 408 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 409 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 410 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 411 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 412 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 413 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 414 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.001V | Positivo |
| 415 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 416 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 417 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 418 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 419 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 420 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 421 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | | | <u> </u> |

TABELLA 5-Xp

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 422 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 423 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 424 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|------------------------|---------|----------|
| 425 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 426 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 427 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 428 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 429 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 430 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 431 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 432 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 433 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 434 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 436 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 437 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 438 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 439 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 440 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.950V | Positivo |
| 441 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 442 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 443 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 444 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 445 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 446 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 447 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.978V | Positivo |
| 448 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.005V | Positivo |
| | | | _ · |

TABELLA 5-Xq Rapporto di collaudo

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 449 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 450 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 451 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|--------------------------|--------|----------|
| 452 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 453 | $1.67V \pm 50 \text{mV}$ | 1.679V | Positivo |
| 454 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 455 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 456 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 457 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 458 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.885V | Positivo |
| 459 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 460 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 461 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 462 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 463 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 464 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 465 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 466 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.005V | Positivo |
| 467 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 468 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 470 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 471 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 472 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 473 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 474 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 475 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| | 1 1 | | |

TABELLA 5-Xr

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 476 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 477 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 478 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|--------|----------|
| 479 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 480 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 481 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 482 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.007V | Positivo |
| 483 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 484 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 485 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 486 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 487 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 488 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 489 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 490 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 491 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 492 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 493 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 494 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 495 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 496 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 497 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 498 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 499 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 500 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 501 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| | | | • |

TABELLA 5-Xs

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 502 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 504 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 505 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-------------------------|--------|----------|
| 506 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 507 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 508 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 509 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.980V | Positivo |
| 510 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 511 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 512 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 513 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 514 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 515 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 516 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.985V | Positivo |
| 517 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 518 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 519 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 520 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 521 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 522 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 523 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 524 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 525 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 526 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 527 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.879V | Positivo |
| 528 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | | | • |

TABELLA 5-Xt

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 529 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 530 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 531 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
|-----|------------------------|----------|----------|
| 532 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 533 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 534 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 535 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 24.006V | Positivo |
| 536 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 538 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 539 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 540 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 541 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 542 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 543 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 544 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 545 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 546 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 547 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 548 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 549 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 550 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.002V | Positivo |
| 551 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 552 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 553 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 554 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 555 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| | TABEI | LLA 5-Xu | |

TABELLA 5-Xu

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 556 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 557 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 558 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|--------|----------|
| 559 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 560 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 561 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 562 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 563 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 564 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 565 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 566 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 567 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 568 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 569 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 570 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 572 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 573 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 574 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 575 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 576 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 577 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 578 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.005V | Positivo |
| 579 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 580 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 581 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 582 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| | 1 | | , |

TABELLA 5-Xv

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 583 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 584 | $5V \pm 50mV$ | 5.002V | Positivo | |

| 585 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
|-----|-------------------------|---------|----------|
| 586 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 587 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 588 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 589 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 590 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 591 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 592 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 593 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 594 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 595 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 596 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.885V | Positivo |
| 597 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 598 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 599 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 600 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 601 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 602 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 603 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 604 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 23.985V | Positivo |
| 606 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 607 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 608 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 609 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| | ## P.F. | | |

TABELLA 5-Xw

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 610 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 611 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 612 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
|-----|-----------------------|-----------|----------|
| | | | |
| 613 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 614 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 615 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 616 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 617 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 618 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.008V | Positivo |
| 619 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 620 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 621 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 622 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 623 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 624 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 625 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 626 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 627 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 628 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 629 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 630 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 631 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 632 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 633 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 634 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 635 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| | TABE | ELLA 5-Xx | |

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|---------------|-----------------|------------|------|
| 636 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |
| 637 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo | |

| 638 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
|-----|-------------------------|----------|----------|
| 640 | $5V \pm 50mV$ | 5.006V | Positivo |
| 642 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 648 | $24V \pm 50 \text{mV}$ | 24.002V | Positivo |
| 649 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 651 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 652 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 653 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 654 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 655 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 656 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 657 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo |
| 658 | $20V \pm 50mV$ | 19.895V | Positivo |
| 659 | $20V \pm 50mV$ | 19.895V | Positivo |
| 660 | $20V \pm 50mV$ | 19.895V | Positivo |
| 661 | $20V \pm 50mV$ | 19.895V | Positivo |
| 662 | $20V \pm 50mV$ | 19.895V | Positivo |
| 663 | $3.34V \pm 50mV$ | 3.343V | Positivo |
| 664 | $1.1V \pm 50 \text{mV}$ | 1.098V | Positivo |
| 665 | $1.67V \pm 50mV$ | 1.660V | Positivo |
| 666 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.990V | Positivo |
| 667 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 3.990V | Positivo |
| 668 | $1.67V \pm 50mV$ | 1.665V | Positivo |
| 669 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.895V | Positivo |
| | TABE | LLA 5-Xz | <u> </u> |

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|-------------------------|-----------------|------------|------|
| 670 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.902V | Positivo | |
| 671 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.902V | Positivo | |

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------|------|
| TABELLA 5-Xa1 Rapporto di collaudo | | | | |
| 701 | $28V \pm 50 \text{mV}$ | 28.007V | Positivo | |
| 700 | $28V \pm 50 \text{mV}$ | 28.006V | Positivo | |
| 699 | $28V \pm 50 \text{mV}$ | 28.006V | Positivo | |
| 698 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 697 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 696 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 695 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 694 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 693 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 692 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 690 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 689 | $28V \pm 50 \text{mV}$ | 28.006V | Positivo | |
| 683 | $20V \pm 50mV$ | 19.986V | Positivo | |
| 682 | $20V \pm 50mV$ | 19.985V | Positivo | |
| 681 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.002V | Positivo | |
| 680 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 12.009V | Positivo | |
| 679 | $20V \pm 50mV$ | 19.985V | Positivo | |
| 678 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 12.005V | Positivo | |
| 677 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.998V | Positivo | |
| 676 | $3.3V \pm 50 \text{mV}$ | 3.298V | Positivo | |
| 675 | $0.3V \pm 50 \text{mV}$ | 0.315V | Positivo | |
| 674 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.902V | Positivo | |
| 673 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.902V | Positivo | |
| 672 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.902V | Positivo | |

Passo di Test Valore Atteso Valore Misurato Esito Test Note 702 28V + 50mV 28 003V Positivo

| 704 | $4.67V \pm 50mV$ | 4.675V | Positivo | |
|----------------------|-------------------------|-----------------|------------|------|
| 705 | $1.1V \pm 50 \text{mV}$ | 1.109V | Positivo | |
| 706 | $1.67V \pm 50 mV$ | 1.673V | Positivo | |
| 707 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.006V | Positivo | |
| 708 | $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.006V | Positivo | |
| 709 | $1.67V \pm 50 mV$ | 1.667V | Positivo | |
| 710 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.895V | Positivo | |
| 711 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.897V | Positivo | |
| 712 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.905V | Positivo | |
| 713 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.905V | Positivo | |
| 714 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.907V | Positivo | |
| 715 | $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.898V | Positivo | |
| 716 | $0.3V \pm 50 \text{mV}$ | 0.304V | Positivo | |
| 717 | $3.3V \pm 50 \text{mV}$ | 3.309V | Positivo | |
| 718 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.998V | Positivo | |
| 719 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 11.985V | Positivo | |
| 720 | $28V \pm 50 \text{mV}$ | 28.009V | Positivo | |
| 721 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 12.005V | Positivo | |
| 722 | $5V \pm 50mV$ | 4.985V | Positivo | |
| 723 | $28V \pm 50 \text{mV}$ | 28.020V | Positivo | |
| 724 | $28V \pm 50 \text{mV}$ | 28.025V | Positivo | |
| 727 | $2.67 \pm 50 \text{mV}$ | 2.665V | Positivo | |
| 728 | $0 \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo | |
| 729 | $0 \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo | |
| TABELLA 5-Xa2 | | | | |
| Rapporto di collaudo | | | | |
| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |

730

732

 $18V \pm 50 \text{mV}$

 $5V \pm 50mV$

18.018V

5.005V

Positivo

Positivo

| $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.985V | Positivo |
|-------------------------|---|---|
| $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.987V | Positivo |
| $5V \pm 50 \text{mV}$ | 5.006V | Positivo |
| $0 \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| $18V \pm 50 \text{mV}$ | 18.018V | Positivo |
| $18V \pm 50mV$ | 18.018V | Positivo |
| $18V \pm 50 \text{mV}$ | 18.018V | Positivo |
| $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| $18V \pm 50mV$ | 18.018V | Positivo |
| $3V \pm 50 \text{mV}$ | 3.005V | Positivo |
| $1.1V \pm 50 \text{mV}$ | 1.004V | Positivo |
| $1.67V \pm 50mV$ | 1.667V | Positivo |
| $4V \pm 50 \text{mV}$ | 4.015V | Positivo |
| $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| $1.67V \pm 50mV$ | 1.665V | Positivo |
| $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.905V | Positivo |
| $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.907V | Positivo |
| $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.905V | Positivo |
| $0 \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.905V | Positivo |
| $0.9V \pm 50 \text{mV}$ | 0.908V | Positivo |
| $0 \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| TABEL | LA 5-Xa3 | 1 |
| | | |
| | $0V \pm 50mV$ $0V \pm 50mV$ $5V \pm 50mV$ $0 \pm 50mV$ $0 \pm 50mV$ $18V \pm 50mV$ $18V \pm 50mV$ $18V \pm 50mV$ $0V \pm 50mV$ $18V \pm 50mV$ $18V \pm 50mV$ $18V \pm 50mV$ $11V \pm 50mV$ | $\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ |

| Passo di Test | Valore Atteso | Valore Misurato | Esito Test | Note |
|---------------|-------------------------|-----------------|------------|------|
| 757 | $3.3V \pm 50 \text{mV}$ | 3.298V | Positivo | |
| 758 | $5V \pm 50mV$ | 5.005V | Positivo | |

| 759 | $12V \pm 50 \text{mV}$ | 12.015V | Positivo |
|-----|------------------------|---------|----------|
| 760 | $0V \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |
| 761 | $0V \pm 50mV$ | 0V | Positivo |
| 762 | $5V \pm 50 \text{mV}$ | 4.987V | Positivo |
| 763 | $18V \pm 50 \text{mV}$ | 18.016V | Positivo |
| 764 | $0 \pm 50 \text{mV}$ | 0V | Positivo |

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Ferrites and Accessories, Siemens Matsushita Components
- Appunti dalle lezioni di Progettazione automatica di circuiti elettronici del prof. Luciano
- Appunti dalle lezioni di Controlli Automatici del prof. Sciavicco
- Appunti dalle lezioni di Misure Elettroniche del prof. Baccigalupi
- Appunti sulle ferriti, Gieffe-IW20AP, Sandit
- Elettronica di Potenza, Mohan-Underland-Robbin, Hoepli
- Alimentatori, Gottlieb, Jackson
- Il manuale dei circuiti stampati, Fazio, Sandit
- Regolatori e Batterie, Zella, Sandit
- Computer, Raschetti-Melchiori-Occhionero, Signorelli
- Programmare in C, Gottfried, McGraw Hill
- Microelectronic Circuits, Sedre-Smith, Oxford University Press
- Teoria e progetto delle reti logiche, Fadini-Esposito, Liguori
- C Compiler Reference Manual CCS
- Nuova elettronica Handbook
- Fondamenti di Informatica I, Fadini-Savy, Liguori

RIFERIMENTI WEB

RIFERIMENTI WEB

- www.microst.it
- www.diegm.uniud.it
- www.rscomponents.it
- www.meteogiornale.it
- www.tracopower.com
- www.rockwellautomation.it
- www.crydom.com
- www.bourns.com
- www.lem.com
- www.tycoelectronics.com
- www.datasheetcatalog.com
- www.microchip.com
- www.national.com
- www.dizionarioinformatico.com
- www.edu.let.unicas.it
- www.linux.it
- www.CCS.com
- www.vincenzov.net/tutorial/RS232/seriale.htm