

Rapporti tecnici

INGV

**Sistema di acquisizione dati
a basso consumo basato su Linux per
sensori multiparametrici: l'hardware**

226



Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI A BASSO CONSUMO BASATO SU LINUX PER SENSORI MULTIPARAMETRICI: L'HARDWARE

Sergio Guardato

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

226

Indice

Introduzione	5
1. Descrizione del sistema	6
1.1 Il modulo di alimentazione	8
1.2 La scheda Fox Board G20	11
2 La scheda SERIALS: descrizione dettagliata	15
2.1 Porte seriali di tipo USB comandabili	17
2.2 Porte seriali di tipo RS-232	18
2.3 Porta seriale di tipo RS-485/RS-422	20
3. La scheda PIGTAIL: descrizione dettagliata	22
3.1 Monitoraggio dei consumi per la strumentazione	24
3.2 Interfaccia seriale I2C	26
3.3 Misura della temperatura	27
3.4 Bussola interna	33
3.5 Convertitore analogico-digitale	37
3.6 Misura di tilt	42
3.7 Sensore di allagamento	49
3.8 Connettore di espansione	51
3.9 Consumi	53
Bibliografia	54
Appendice - Schemi elettrici	55

Introduzione

Questo rapporto tecnico descrive dettagliatamente l'*hardware* di un sistema di acquisizione dati, a basso consumo, basato sul sistema operativo *open-source* Linux, adatto per l'acquisizione di segnali da sensori multiparametrici. Il sistema in oggetto si presta adeguatamente per misure di monitoraggio ambientale effettuate mediante sensori, con uscita analogica o digitale, con *rate* di acquisizione medio-basso (da 1 *sample*/10 s a 10 *sps*). Il sistema si presenta a *frame* aperto ed è costituito da tre schede elettroniche impilabili una sull'altra attraverso una coppia di *slot*.

Il nucleo centrale del sistema è formato da una CPU del tipo ARM-9 a basso consumo montata su una scheda elettronica commerciale. Una seconda scheda ospita sino ad otto linee digitali di I/O, due interfacce USB con accensione a comando, tre porte seriali asincrone di tipo RS-232 ed una porta seriale asincrona *half-duplex* di tipo RS-485/RS-422. Su una terza scheda elettronica è presente un convertitore analogico-digitale a 12-bit ad otto canali multiplexati, utilizzato per monitorare i consumi elettrici della strumentazione e del sistema stesso. Oltre che a fornire la misura della temperatura del sistema, la scheda effettua la misura dell'inclinazione e dell'orientazione, con la presenza di una bussola magnetica digitale, e dispone di un sensore di presenza acqua, utile per applicazioni di geofisica marina. Infine, un connettore di espansione consente di collegare al sistema un'ulteriore scheda di estensione con la possibilità di rendere disponibile all'esterno sino a otto linee digitali di I/O e un'interfaccia seriale di tipo I²C, eventualmente optoisolate. Completa il tutto un modulo (opzionale) con convertitori DC/DC di bassa potenza in grado di fornire tutte le tensioni di alimentazione di cui necessita il sistema.

La motivazione che ha spinto la produzione di questo sistema risiede principalmente nel fatto che, sul mercato di elettronica attuale, non sono disponibili siffatti sistemi di acquisizione a basso consumo, utili per il controllo ed il monitoraggio di strumentazione, di interesse geofisico e non, da fondale marino. Sino a poco tempo fa, per il modulo sottomarino del sistema CUMAS (Cabled Underwater Module for Acquisition of Seismological data) [Iannaccone *et al*, 2009], si è fatto uso di una CPU industriale basata su Linux (Moxa, UC7408-LX) il cui consumo si attesta intorno ai 5 W, eccessivi per siffatti sistemi. Se a questo si aggiungono i consumi dei sensori di stato esterni ad essa connessa, allora i consumi salgono intorno ai 7 W. Ma essendo il sistema costituito da una parte fuori acqua e l'altra adagiata sul fondo marino, il tutto raddoppia facendo salire i consumi di questa elettronica intorno ai 14 W totali. Inoltre, bisogna prendere in considerazione anche il costo della CPU (circa 900€) e dei sensori esterni (circa 1000€), non trascurabili. Infine, l'utilizzo della CPU Moxa, ritenuto valido al momento della progettazione del sistema CUMAS (2003), risulta oggi superato, sia in termini di consumo sia come costi.

Il sistema di acquisizione proposto consuma meno di 1 W e contiene una CPU più potente (dotata di compilatore *gcc* integrato, a differenza della CPU Moxa) ed integra tutti i sensori presenti nel sistema CUMAS fornendo risoluzioni di misura simili. Il costo finale si aggira intorno ai 450€. Appaiono evidenti, quindi, i notevoli vantaggi che ne sono derivati dall'implementazione della soluzione proposta.

Un'interfaccia *web* scritta in linguaggio PHP, una serie di *script* scritti in Bash e Perl, coadiuvati da una serie di applicazioni elaborate in linguaggio C, costituiscono il *software* di gestione del microprocessore, delle periferiche e dei sensori integrati ed esterni, per la cui descrizione dettagliata si rimanda ad un successivo documento di prossima pubblicazione.

1. Descrizione del sistema

Il sistema di acquisizione dati in questione si presenta a *frame* aperto ed è costituito da tre schede elettroniche impilabili una sull'altra attraverso una coppia di *slot* (Figura 1.1). Esso è costituito principalmente da una scheda elettronica commerciale con microprocessore integrato, del tipo ARM-9 a basso consumo. Questa si basa sul sistema operativo *open-source* Linux. Il sistema si presta adeguatamente per misure di monitoraggio ambientale effettuate mediante sensori multiparametrici, con uscita analogica o digitale, con *rate* di acquisizione medio-basso (da 1 *sample*/10 s a 10 *sps*).

La scheda commerciale, denominata Fox Board G20, da sola offre due porte USB 2, un'interfaccia seriale di tipo I²C ed una di tipo SPI, mentre le quattro porte seriali di tipo RS-232 a corredo, non sono disponibili direttamente a causa dell'assenza dei circuiti ricetrasmittenti.

Impilando dall'alto su questa, mediante due opportuni connettori, la scheda-*shield* denominata SERIALS (Capitolo 2), le due porte USB anzidette diventano ad accensione con comando di *on/off*. La presenza, inoltre, di quattro ricetrasmittitori consente di avere fisicamente disponibili tre porte seriali asincrone di tipo RS-232 ed una *half-duplex* di tipo RS-485/RS-422.

Innestando su questa coppia di schede un'ulteriore scheda-*shield* denominata PIGTAIL (Capitolo 3), il sistema si completa con un convertitore analogico-digitale a 12-bit, ad otto canali multiplexati, di cui due canali per il monitoraggio di altrettanti segnali analogici in tensione provenienti da sensori esterni. La scheda offre anche la possibilità della misura dei consumi elettrici dei sensori collegati al sistema, nonché la misura della temperatura del sistema, dell'inclinazione e orientazione del modulo, con la presenza di un sensore di anti-allagamento. Infine, un connettore di espansione consente di collegare al sistema un'ulteriore scheda di estensione - separata dal sistema - con la possibilità di rendere disponibile all'esterno sino a otto linee digitali di I/O e un'interfaccia seriale di tipo I²C, eventualmente optoisolate.

Una scheda (opzionale), disponibile a parte e denominata POWER, contiene una coppia di convertitori DC/DC di bassa potenza in grado di fornire tutte le tensioni di alimentazione di cui necessita il sistema.

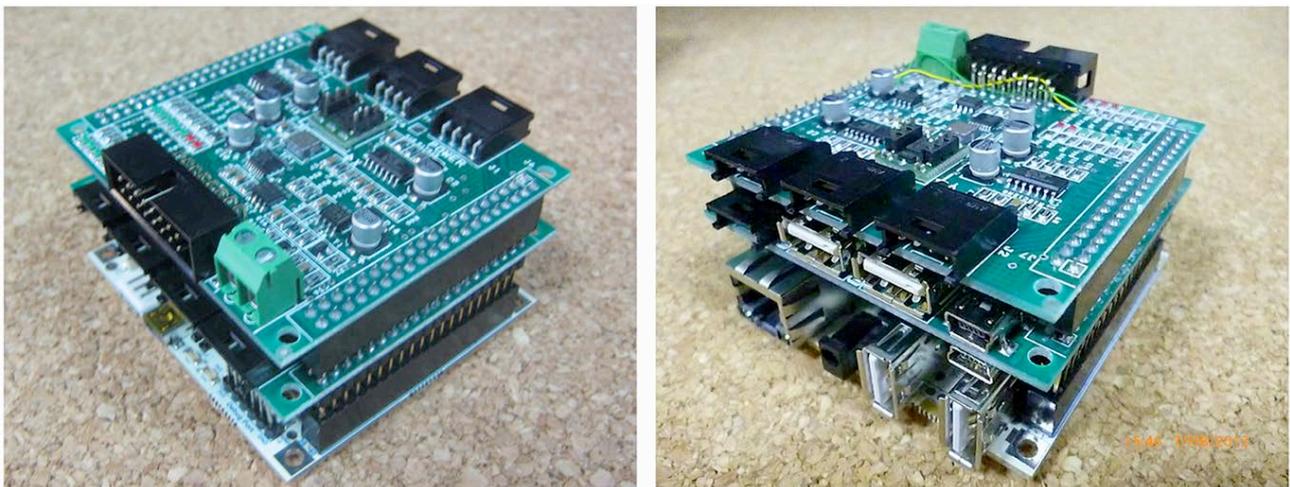


Figura 1.1 Il sistema di acquisizione completo (non in scala).

Nella Figura 1.2 viene mostrato lo schema a blocchi dell'intero sistema. Le dimensioni del sistema sono di 73 x 73 x 44 mm³ senza considerare gli ingombri, fonte-retro, dovuti ai collegamenti inter-scheda, al *jack* Ethernet, ai connettori di alimentazione, al connettore di espansione e quelli relativi ai connettori delle porte seriali previste per il collegamento dei sensori esterni.

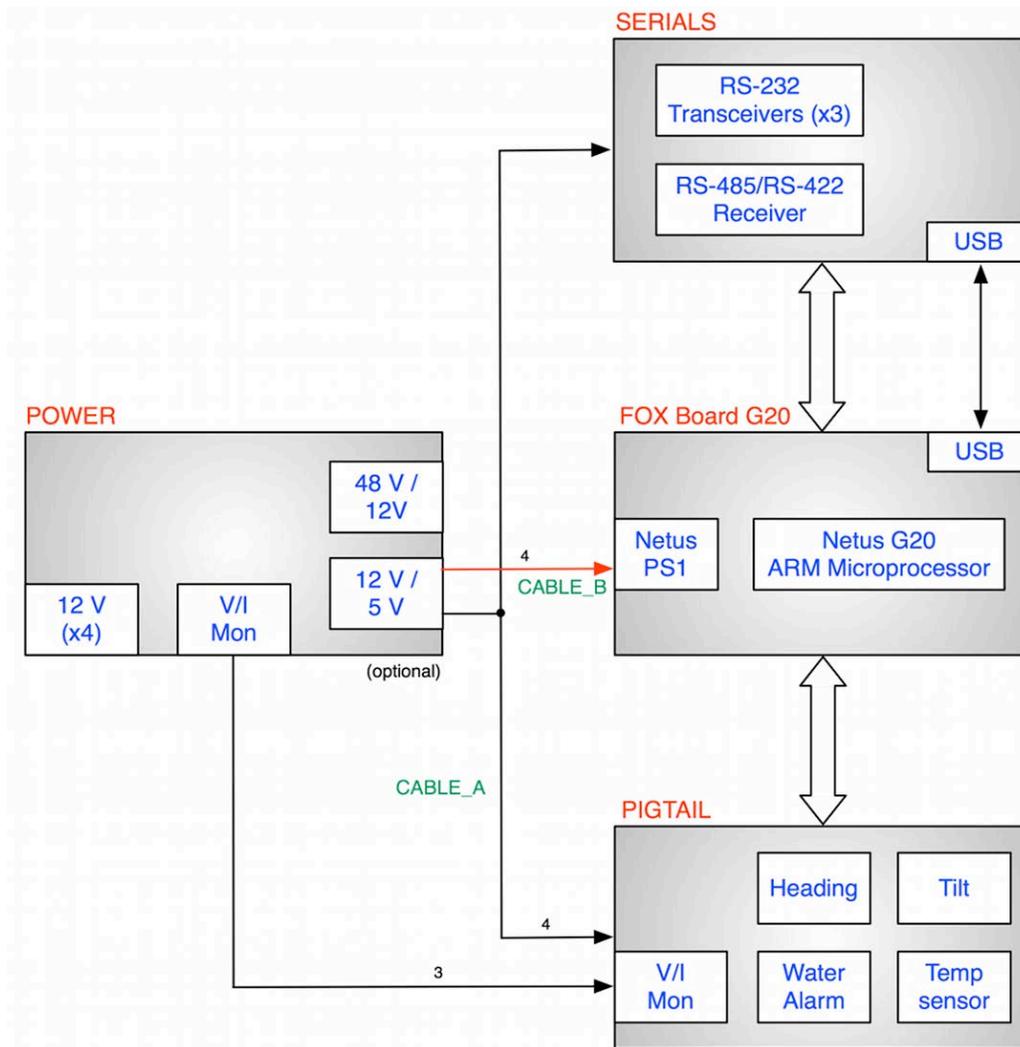


Figura 1.2 Schema a blocchi del sistema di acquisizione.

1.1 Il modulo di alimentazione

Il modulo delle alimentazioni di tutto il sistema di acquisizione e di eventuali strumenti esterni ad esso collegati, è costituito da una scheda elettronica (denominata POWER) il cui schema è visibile in Appendice. La scheda, pensata principalmente per l'alimentazione di un modulo sottomarino via cavo con conseguente circolazione in esso di una corrente bassa, è alimentata da una sorgente esterna di tensione continua positiva di 48 V, non necessariamente stabilizzati. Sulla scheda sono alloggiati due convertitori di tensione DC/DC. Questi, oltre a provvedere all'isolamento galvanico delle alimentazioni del sistema sottomarino dalla sorgente di tensione esterna presente in superficie, genera anche tutte le tensioni di alimentazione del sistema di acquisizione nelle sue parti e quelle necessarie per la strumentazione ad esso connessa. Nella figura sottostante è mostrato lo schema a blocchi della scheda.

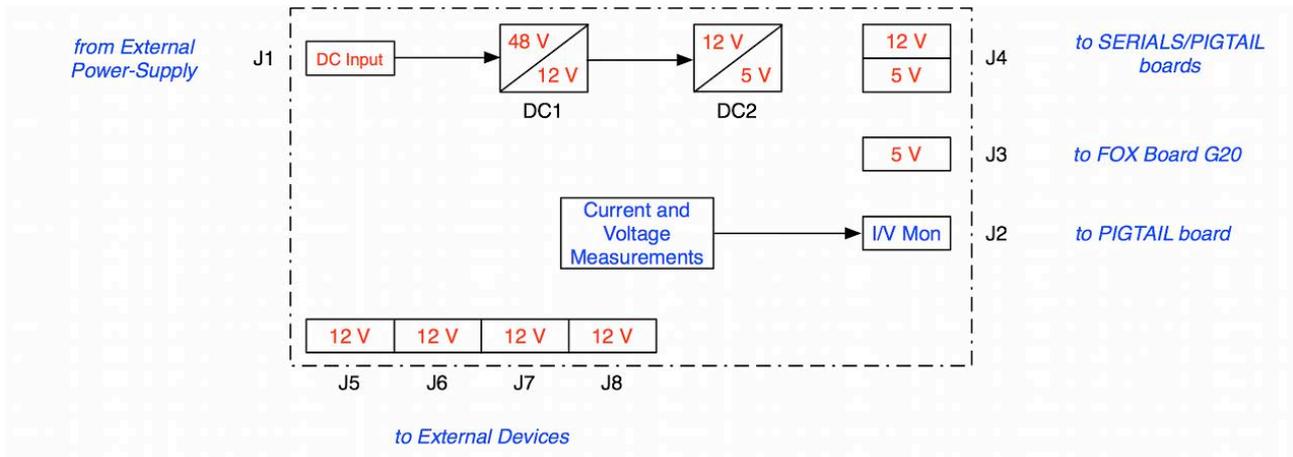


Figura 1.1.1 Schema a blocchi della scheda POWER.

Il primo convertitore DC/DC (denotato DC1 sulla scheda), alimentato direttamente dalla tensione esterna fornita al connettore J1 della scheda (connettore a due pin con attacco a viti), è un convertitore di tensione continua con uscita singola. Si tratta del componente siglato TEL 15-4812 della Traco Power. Esso trasforma la tensione continua applicata al suo ingresso, e compresa nell'intervallo $36 \div 75$ V, in una tensione continua in uscita di +12 V isolata dall'ingresso, disponendo nel carico di una corrente massima pari a 1250 mA (15 W) e con una efficienza tipica dello 86 %.

Il dispositivo DC1 presenta un isolamento di ingresso/uscita di 1500 V continui ed offre la protezione indefinita contro eventuali corto circuiti in uscita, disponendo della possibilità del riarmo automatico della tensione in uscita. Dalle specifiche per la sezione di ingresso [TEL 15 Series, DC/DC Converters], si nota un consumo tipico di 10 mA @ 48 V (0.48 W) in assenza di carico. Il convertitore di tensione presenta, tipicamente, una tensione minima di avvio (*start-up*) in ingresso di 33 V, mentre è tipicamente pari a 29 V la tensione di spegnimento (*shutdown*). Nella figura che segue viene mostrata la disposizione e la nomenclatura dei pin.

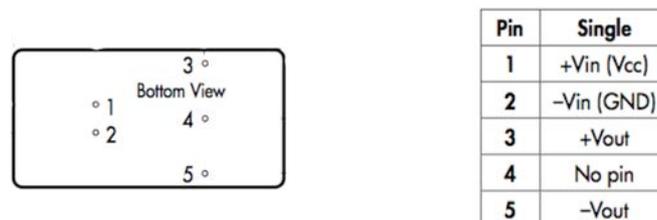


Figura 1.1.2 TEL 15-4812: disposizione e nomenclatura dei pin.

Due diodi led a montaggio superficiale segnalano la presenza della tensione di alimentazione esterna (LD1) e della tensione in uscita dal DC1 (LD2).

Il secondo convertitore DC/DC (denotato DC2 sulla scheda), alimentato dalla tensione +12 V fornita in uscita dal convertitore DC1, è un convertitore di tensione continua con uscita singola. Si tratta del convertitore siglato MEV3S1205SC della *muRata* PS disponibile in formato *Single-In-Line* a 4 pin miniaturizzato [MEV3 Series, 3kVDC Isolated 3W Single Output DC/DC Converters]. Esso trasforma la tensione continua di +12 V \pm 10 % applicata al suo ingresso, in una tensione continua in uscita di +5 V isolata dall'ingresso, disponendo nel carico di una corrente massima pari a 600 mA (3 W) e con una efficienza tipica dello 84 %. Il dispositivo DC2 presenta un isolamento di ingresso/uscita di 3000 V continui. Nella figura che segue viene mostrata la disposizione e la nomenclatura dei pin.



Figura 1.1.3 MEV3S1205SC: disposizione e nomenclatura dei pin.

La tensione massima applicabile in ingresso può arrivare sino a +15 V. La figura che segue mostra la curva di efficienza tipica al variare della tensione di ingresso applicata.

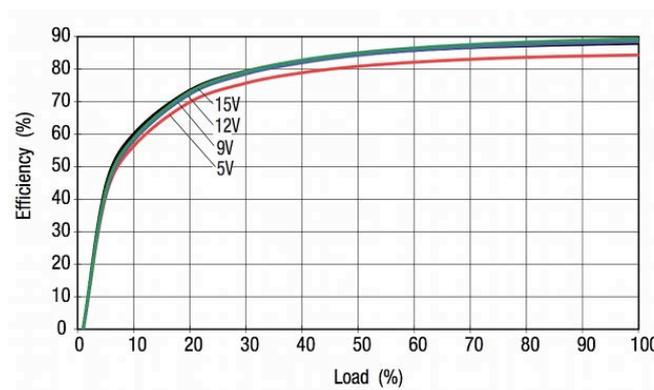


Figura 1.1.4 MEV3S1205SC: curva di efficienza.

Un ulteriore diodo led a montaggio superficiale (LD3) segnala la presenza della tensione di alimentazione di +5 V disponibile in uscita dal dispositivo.

La tensione di +12 V (denotata con VPP su questa scheda) è disponibile sia per l'alimentazione di un eventuale carico esterno (connettore a due pin con attacco a vite, denominato J5), sia per l'alimentazione dei sensori con uscita digitale su porta seriale e collegabili alla scheda denominata SERIALS (connettore plug da circuito stampato a quattro pin, denominato J4), descritta nel Capitolo 2. Questa tensione viene monitorata, assieme alle correnti, da opportuni circuiti che saranno descritti nel Capitolo 3, e i cui segnali in tensione sono disponibili sul connettore plug J2 da circuito stampato a quattro pin. La tensione a +5 V è destinata sia all'alimentazione della scheda Fox Board G20 (connettore plug da circuito stampato a quattro pin, denominato J3), sulla quale alloggia il microprocessore e le periferiche integrate (porte USB, ...), sia all'alimentazione della scheda SERIALS.

Sulla scheda sono disponibili ulteriori quattro connettori a due pin con attacco a vite (J6, J7 e J8) destinati ad alimentare, con la tensione continua di +12 V, ulteriori carichi esterni.

Un cavo, denominato CABLE_A (visibile in Figura 1.1.5), si sdoppia per alimentare sia la scheda PIGTAIL (con la sola tensione di +5 V), sia la scheda SERIALS. Al connettore J4 della scheda POWER dovrà essere collegato il connettore socket, a quattro vie, denominato JA1. I connettori socket JA2 e JA3 del cavo, dello stesso tipo, andranno collegati, rispettivamente, ai connettori J1 della scheda PIGTAIL e J1 della scheda SERIALS. Si noti che sul connettore J1 della scheda PIGTAIL, pur essendo presente la tensione di +12 V, questa non viene di fatto utilizzata per alimentare alcun componente presente su quest'ultima scheda.

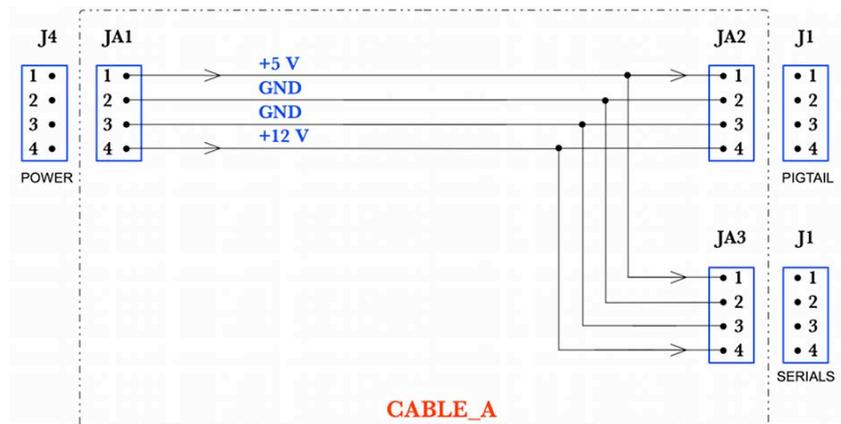


Figura 1.1.5 Composizione del cavo CABLE_A.

Infine, un secondo cavo, denominato CABLE_B (visibile in Figura 1.1.6), è del tipo 1:1 e serve per alimentare la scheda Fox Board G20 (con la sola tensione di +5 V). Esso va collegato tra il connettore J3 della scheda POWER (con il connettore socket del cavo denominato JB1) ed il connettore J8 della scheda Fox Board G20 (con il connettore socket del cavo, dello stesso tipo, denominato JB2).

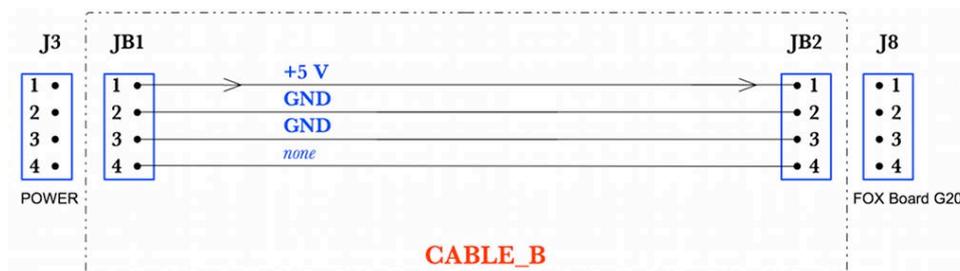


Figura 1.1.6 Composizione del cavo CABLE_B.

La figura che segue mostra la scheda elettronica denominata POWER con la disposizione dei componenti. Essa presenta le dimensioni di 72 mm x 66 mm.



Figura 1.1.7 La scheda POWER (dimensioni reali).

1.2 La scheda Fox Board G20

La scheda elettronica denominata FOX Board G20 costituisce il nucleo centrale del sistema di acquisizione dati. Si tratta di una scheda a basso consumo e di prezzo ridotto contenente un computer, nata per sviluppare applicazioni Linux embedded. Essa è costruita intorno ad un processore di tipo ARM, della serie 9, a 400 MHz costituito dalla CPU Atmel modello AT91SAM9G20 [AT91SAM9G20, 2009] ed è prodotta in Italia dalla ditta Acme Systems srl (<http://www.acmesystems.it>). I principali campi di applicazione vanno dallo sviluppo di *software* per lo sviluppo e la gestione web server, al controllo di dispositivi embedded con la possibilità di avere una connettività ad Internet e la flessibilità che offre il sistema operativo Linux nello sviluppare applicazioni embedded di tipo *open-source*. Sulla scheda è possibile installare facilmente molte applicazioni pronte all'uso grazie alla distribuzione GNU/Linux Debian (al momento la Squeeze 6.0, versione del *kernel* 2.6.38) ed al suo enorme repository di applicazioni. I linguaggi di programmazione adottabili per sviluppare applicazioni utente vanno dal C al C++ a Python, Javascript, PHP, Perl ed altri. Alcuni di questi linguaggi di programmazione sono pre-installati di *default* su scheda di tipo micro SD avviabile fornita a corredo, mentre altri possono essere facilmente installati usando pochi comandi dalla shell di Bash.

La scheda Fox Board G20 (Figura 1.2.1) presenta due prese per connettori dual-in-line da 40 pin con passo 2.54 mm, disponibili per collegare la scheda su supporti specifici mediante l'ausilio di schede *shield* aggiuntive. Su questi pin, oltre ad una tensione di alimentazione a +3.3 V, sono disponibili segnali che possono essere usati per implementare comunicazioni seriali asincrone di tipo RS-232/RS-485/RS-422, *bus* seriali di tipo I²C (Inter Integrated Circuit) e SPI (Serial Peripheral Interface), numerosi pin digitali di I/O (GPIO), convertitore A/D a 10-bit integrato a quattro canali ed interfacce di tipo PWM.

Costruito intorno alla CPU ARM, installata su un modulo denominato Netus G20 (in dotazione), la scheda presenta le seguenti caratteristiche principali:

- 64 MB di memoria RAM;
- 256 KB di memoria FLASH per il *bootloader*;
- sino a 16 GB di dati su micro SD avviabile;
- due porte USB 2.0 di tipo host (12 Mbps);
- porta Ethernet 10/100;
- una porta USB device (12 Mbps);
- una porta seriale per il *debug* (3.3 V);
- due porte seriali (3.3 V);
- una porta seriale per *display* OLED 4DSYSTEMS;
- alimentazione a +5 Vdc;
- Real Time Clock integrato con a bordo batteria di *backup* (CR-1220, 3 V);
- Linee GPIO (a 1.8 V e a 3.3 V);
- 4 linee A / D a 10-bit;
- *bus* seriale I²C;
- *bus* seriale SPI;
- modulo di alimentazione integrato (Netus PS1);
- consumo medio di 0.4 W (senza micro SD installata, escludendo il collegamento Ethernet e senza alcun dispositivo USB o altre periferiche connesse).

Maggiori informazioni possono essere trovate sul sito del produttore dove è possibile scaricare gratuitamente gli schemi elettrici delle schede (Fox Board G20, Netus G20 e Netus PS1) e i manuali d'uso. Utilissime sono le pagine di documentazione per lo sviluppo di applicazioni *software* e numerose le applicazioni *hardware* mostrate. Estremamente ricche le pagine relative al forum ed al newsgroup per le discussioni coinvolgenti gli sviluppatori. Le dimensioni della scheda sono di 72 mm x 66 mm.

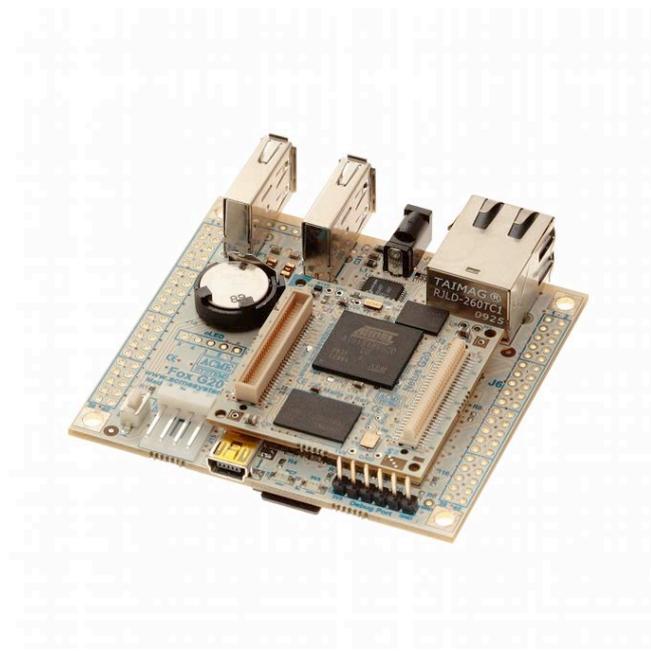


Figura 1.2.1 Scheda Fox Board G20 (dimensioni reali).

Sul modulo compatto denominato Netus G20 (40 x 40 mm) è presente la CPU ARM (Figura 1.2.2). Le sue caratteristiche principali sono:

- CPU Atmel AT91SAM9G20 basata su processore ARM926EJ-S™ ARM® Thumb® con una velocità di *clock* interno di 400 MHz;
- 64 MB di memoria SDRAM con accesso parallelo a 32-bit;
- 8 MB di memoria *flash*;
- quattro connettori a 60 pin (0.8 mm pitch) con i seguenti segnali disponibili sia sui lati superiore e inferiore:
 - una porta USB 2.0 (12 Mbps) Device Port;
 - due porte USB 2.0 (12 Mbps) Porte Host;
 - MAC Ethernet 10/100 Base T Port;
 - Image Sensor Interface (ITU-R BT. 601/656 12-bit);
 - *slot* di interfaccia MultiMedia Card (MCI), SD Card / SDIO e MultiMediaCard™ Compliant;
 - quattro *transceivers* (USART) con supporto RS-485;
 - due UART a 2 fili;
 - due interfacce Master / Slave di tipo SPI (Serial Peripheral Interface);
 - interfaccia seriale su *bus* I²C;
 - un ADC a 10-bit con quattro canali;
 - 80 linee di I/O programmabili individualmente ad *open-drain*;
 - Interrupt in ingresso su ogni linea di I/O;
 - porta console seriale a 2 fili e JTAG con Boundary Scan.
- due *timer*/contatori a 16-bit a tre canali con PWM Generation;
- *watchdog timer*;
- *real-time clock* con batteria di *backup*.

Maggiori informazioni possono essere trovate sul sito del produttore dove è possibile scaricare gratuitamente gli schemi elettrici e i manuali di utilizzo.

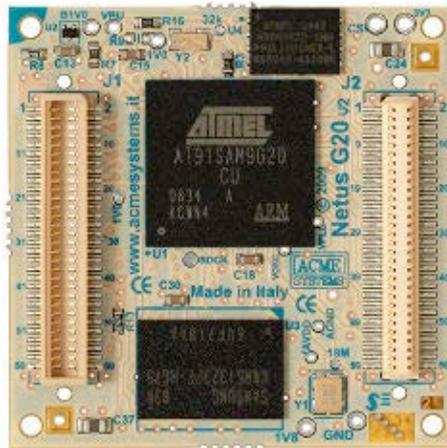


Figura 1.2.2 Scheda Netus G20 (zoom x2)

Nella Figura 1.2.3 viene mostrata la disposizione delle maggiori parti componenti la scheda Fox Board G20, mentre nella Figura 1.2.4 sono mostrati i segnali disponibili sugli *slot* denominati J6 e J7 utilizzati per connettere questa con le schede sviluppate, denominate SERIALS e PIGTAIL, che saranno descritte nei successivi capitoli.

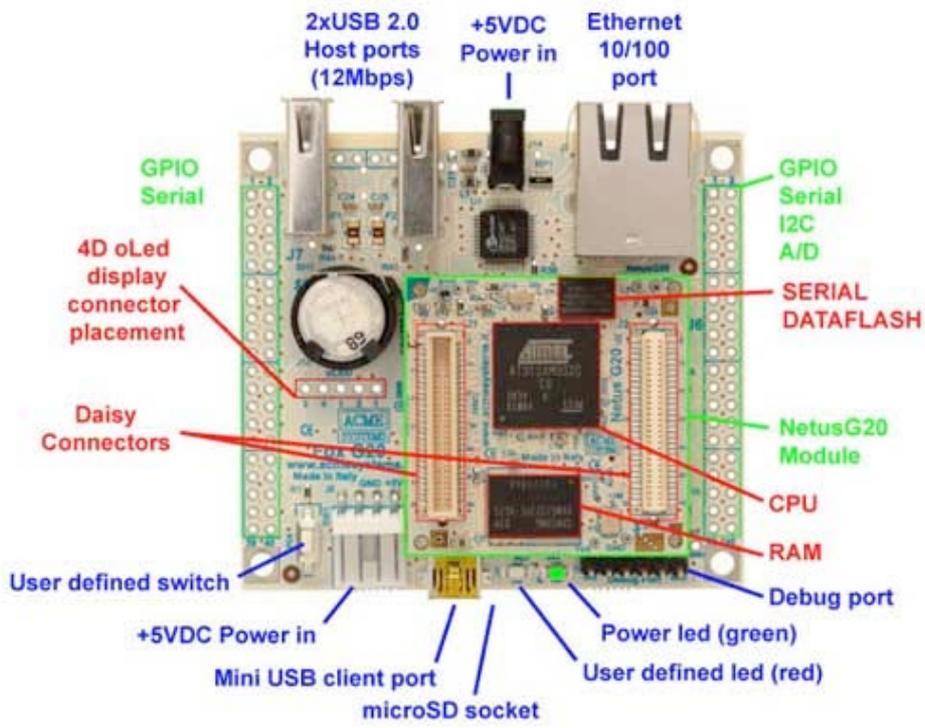


Figura 1.2.3 Scheda Fox Board G20: descrizione componenti.

Fox pins	Signal	Kernel ID	Description	Fox pins	Signal	Kernel ID	Description
J6.1	3.3V		3.3 volt power line	J7.1	GND		Signal ground
J6.2	3.3V		3.3 volt power line	J7.2	GND		Signal ground
J6.3	RTS1		Request to send ttyS2	J7.3	PB18	82	General purpose I/O
J6.4	RXD1		Receive data ttyS2	J7.4	PB19	83	General purpose I/O
J6.5	TXD1		Transmit line ttyS2	J7.5	PB16	80	General purpose I/O
J6.6	CTS1		Clear to send ttyS2	J7.6	PB17	81	General purpose I/O
J6.7	RTS0		Request to send ttyS1	J7.7	CK		SPI bus clock
J6.8	RXD0		Receive data ttyS1	J7.8	NPCSO		SPI bus chip select 0
J6.9	TXD0		Transmit data ttyS1	J7.9	MISO		SPI bus master input/slave output
J6.10	CTS0		Clear to send ttyS1	J7.10	MOSI		SPI bus master output/slave input
J6.11	N.C.		Not connected	J7.11	PC14	110	General purpose I/O at 1.8V
J6.12	5V		5 volt power line	J7.12	PC15	111	General purpose I/O at 1.8V
J6.13	RXD3		Receive data ttyS4	J7.13	PC12	108	General purpose I/O at 1.8V
J6.14	TXD3		Transmit data ttyS4	J7.14	PC13	109	General purpose I/O at 1.8V
J6.15	PB13	77	General purpose I/O	J7.15	PC9	105	General purpose I/O at 1.8V
J6.16	PB12	76	General purpose I/O	J7.16	CTS3		Clear to send ttyS4 1.8V
J6.17	PB21	85	General purpose I/O	J7.17	PC7	103	General purpose I/O at 1.8V wired on PC7 red led
J6.18	PB20	84	General purpose I/O	J7.18	RTS3		Request to send ttyS4 1.8V
J6.19	PB31	95	General purpose I/O	J7.19	NPCS1		SPI bus chip select 1
J6.20	PB30	94	General purpose I/O	J7.20	PC6	102	Reserved. Used to read if the client USB port is wired to a PC
J6.21	PA31	63	General purpose I/O	J7.21	RXD2		Receive data ttyS3
J6.22	PA30	62	General purpose I/O	J7.22	TXD2		Transmit data ttyS3
J6.23	N.C.		Not connected	J7.23	BATT		RTC Battery input, Use this terminal to wire an external 3.3 volt RTC backup battery
J6.24	PA6	38	General purpose I/O	J7.24	PGD		Wired to power good line on Netus PS1
J6.25	PA7	39	General purpose I/O	J7.25	POK		Wired to power ok line on Netus PS1
J6.26	PA9	41	General purpose I/O	J7.26	SHDNPS#		PS1 shutdown. Active low
J6.27	NPCS3		SPI bus chip select 3	J7.27	NRST		Active low CPU reset input line
J6.28	AD2		Analog input 2	J7.28	SHDN#		Wired to the SHDN Netus G20 line
J6.29	AD1		Analog input 1	J7.29	5V		5 volt power line
J6.30	AD0		Analog input 0	J7.30	WAKEUP		Wired to the WAKEUP Netus G20 line
J6.31	SCL		I2C Clock	J7.31	PB23	87	General purpose I/O
J6.32	SCD		I2C Data	J7.32	PB22	86	General purpose I/O
J6.33	AVDD		Clean 3.3V out for A/D circuitry	J7.33	PB25	89	General purpose I/O
J6.34	VREF		A/D voltage reference input	J7.34	PB24	88	General purpose I/O
J6.35	AGND		Analog ground	J7.35	PA28	60	General purpose I/O
J6.36	PA10	42	General purpose I/O	J7.36	PA27	59	General purpose I/O
J6.37	PA22	54	General purpose I/O	J7.37	PA26	58	General purpose I/O
J6.38	PA11	43	General purpose I/O	J7.38	PA25	57	General purpose I/O
J6.39	GND		Signal ground	J7.39	3.3V		3.3 volt power line
J6.40	GND		Signal ground	J7.40	3.3V		3.3 volt power line

Figura 1.2.4 Descrizione dei segnali disponibili sugli *slot* J6 e J7 (scheda Fox Board G20).

2. La scheda SERIALS: descrizione dettagliata

La scheda SERIALS è il primo *shield* che va installato sulla scheda Fox Board G20 innestandola utilizzando la coppia di *slot* J6 e J7. Essa presenta le stesse dimensioni di quest'ultima.

Con questo shield il sistema rende disponibili:

- due interfacce USB con accensione a comando;
- tre porte seriali asincrone di tipo RS-232;
- una porta seriale asincrona *half-duplex* di tipo RS-485/RS-422.

Nella figura che segue viene mostrato lo schema a blocchi della scheda.

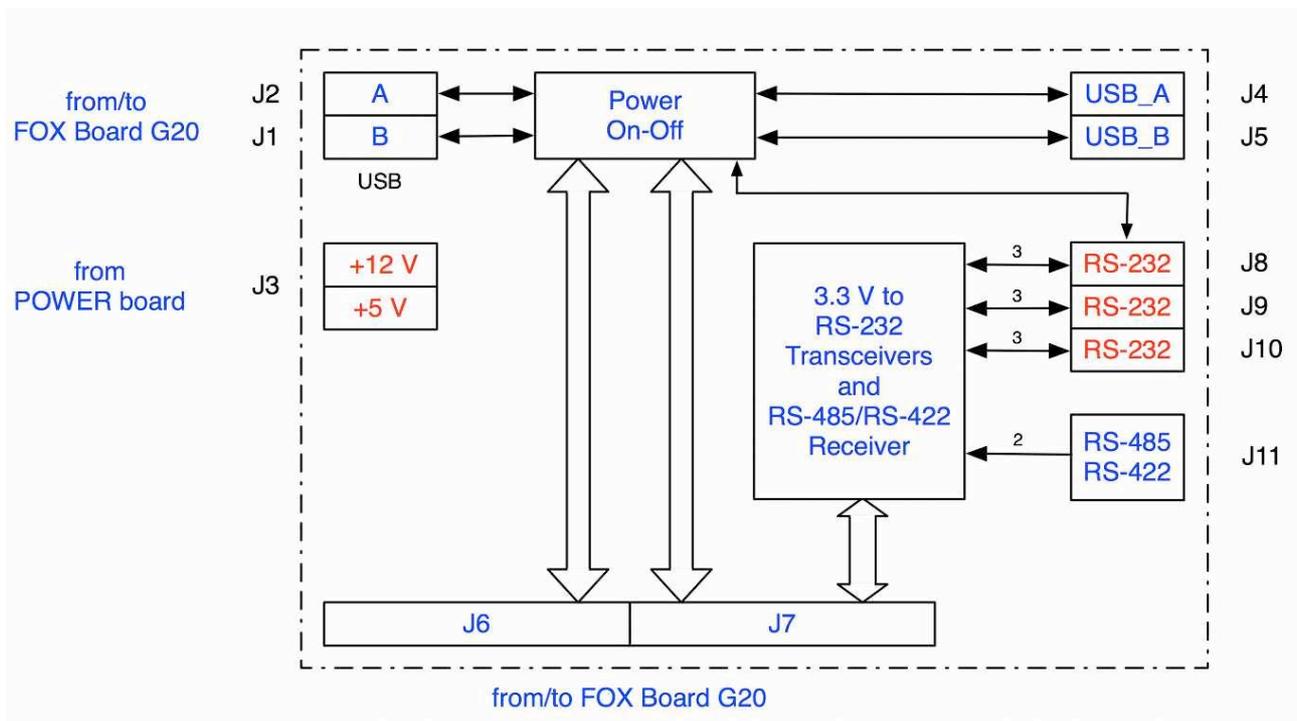


Figura 2.1. Schema a blocchi della scheda SERIALS.

Le due porte USB 2.0 a velocità di 12 Mbps, denotate come USB_A e USB_B, rappresentano solo delle estensioni di altrettante porte USB, già rese disponibili dalla scheda Fox Board G20 (Paragrafo 2.1). In aggiunta, viene fornita all'utente la possibilità di escludere o meno l'alimentazione di eventuali dispositivi USB connessi, ottenendone un risparmio energetico non trascurabile dal momento che qualunque dispositivo USB connesso, anche se in *stand-by*, assorbe svariate decine di mA in corrente.

Con questa scheda si conferiscono al sistema di acquisizione tre porte seriali asincrone, garantendo la comunicazione tra il microprocessore ARM del sistema ed altrettanti sensori esterni provvisti di interfaccia seriale a due linee del tipo RS-232 (Paragrafo 2.2). La presenza di un ricevitore differenziale seriale di tipo RS-485/RS-422, consente la ricezione dei dati NMEA provenienti da un ricevitore GPS remoto, utilizzato per la marcatura temporale dei dati acquisiti dalla sensoristica locale (Paragrafo 2.3).

Nella Figura 2.2 viene mostrata la disposizione delle maggiori parti componenti la scheda.



Figura 2.2. La scheda SERIALS (dimensioni reali).

2.1 Porte seriali di tipo USB comandabili

Tra le interfacce seriali disponibili sulla scheda SERIALS figurano anche due porte USB 2.0 a velocità di 12 Mbps, denotate come USB_A e USB_B. In realtà, si tratta della sola estensione delle altrettante porte USB disponibili sulla scheda Fox Board G20 (connettori J3 e J5, di tipo A), alle quali queste sono fisicamente collegate mediante due cavi innestati nei connettori maschi J1 e J2 di tipo mini-A montati sulla scheda SERIALS. La novità risiede nel fatto che viene data all'utente la possibilità di alimentare, da remoto via *software*, eventuali dispositivi USB connessi a queste porte mediante dei circuiti di commutazione *on/off*.

Lo schema di un circuito di commutazione è rappresentato in Figura 2.1.1. Esso è formato da due transistor a giunzione, di tipo NPN per commutazioni, e da un MosFet a canale P per commutazioni veloci che presenta una resistenza di chiusura tra i terminali di Drain e Source di soli 65 mΩ. Descriviamo il principio di funzionamento del circuito.

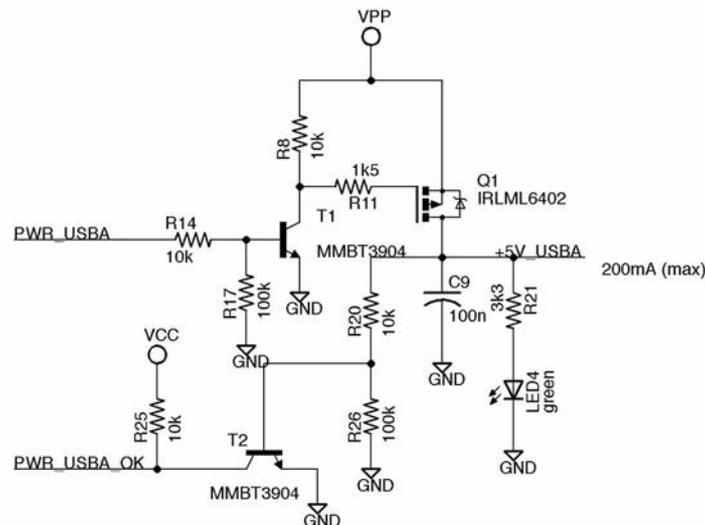


Figura 2.1.1. Circuito di commutazione on-off alimentazione per le porte USB.

La linea denominata PWR_USBA è una linea digitale (con logica a 3.3 V) collegata direttamente al pin 26 dello *slot* J6 della scheda Fox Board G20 a cui fa capo il microprocessore ARM (si veda in Appendice lo schema elettrico denominato CONNECTORS). Se su questa linea è presente un livello logico alto, allora la corrente di base circolante in R14 porterà il transistor T1 - montato in configurazione *switching* - nella condizione di saturazione. La tensione presente sul collettore di T1 (+0.2 V circa) manda in saturazione il MosFet Q1 chiudendo il ramo drain-source, il quale lascia passare corrente e fa salire la tensione sulla linea +5V_USB praticamente alla tensione di alimentazione VPP (+5 V). Questa tensione alimenta quindi qualunque periferica di tipo USB collegata al connettore USB denominato J4, di tipo A, della scheda SERIALS.

La corretta alimentazione della periferica USB connessa è segnalata dall'accensione del diodo led, a montaggio superficiale, denotato con LED4 presente in prossimità del connettore J4. La tensione sulla linea +5V_USB fa circolare una corrente in R20 che è sufficiente a mandare in saturazione il transistor T2. Questi chiude quindi praticamente a massa il suo collettore e la linea PWR_USBA_OK diventa attiva bassa (collegata al pin 36 del connettore J7 della scheda Fox Board G20 cui fa capo il microprocessore ARM sulla scheda Netus G20), segnalando al microprocessore che il carico USB_A è attivo. Quando sulla linea PWR_USBA è presente un livello logico basso, il transistor T1 è in interdizione. La tensione sul suo collettore sale a VPP e la corrente circolante in R11 manda Q1 in interdizione. Questa condizione apre il ramo drain-source e la tensione sulla linea +5V_USB si porta a zero grazie alla rete resistiva formata da R20 e R26. Come risultato si ottiene che il carico viene spento, il led denominato LED4 è spento e T2 è in interdizione, portando il livello di tensione sul suo collettore a VCC (+3.3 V) e la linea PWR_USBA_OK segnala al microprocessore lo spegnimento della periferica USB (A).

Un circuito identico è presente per l'altra porta USB (B) disponibile sul connettore USB denominato J5, di tipo A, della scheda SERIALS. Altri circuiti simili sono utilizzati per il controllo dell'alimentazione di tre carichi esterni collegati dotati di interfaccia seriale RS-232 e di cui si parlerà nel prossimo paragrafo.

2.2 Porte seriali di tipo RS-232

La comunicazione seriale asincrona tra il microprocessore e tre sensori esterni provvisti di interfaccia seriale a due linee (TX ed RX) del tipo RS-232, avviene mediante l'utilizzo di due circuiti integrati identici con a bordo due ricetrasmittitori (*transceiver*) montati sulla scheda SERIALS. Si tratta del circuito integrato, a basso consumo, siglato MAX3233ECWP, nel formato SO-20, prodotto dalla Maxim Integrated Products.

Il dispositivo forma una doppia interfaccia seriale di comunicazione con ricetrasmittitori compatibile con lo standard EIA/TIA-232, dotato delle caratteristiche di spegnimento e di riarmo (*wake-up*) automatico, con elevata velocità di trasmissione dati (sino a 250 kbps) e protezione contro le scariche elettrostatiche (ESD) su tutti gli ingressi e le uscite. Il circuito integrato viene alimentato da una tensione positiva di 3.3 V e consuma una corrente di 1 μ A quando entra in modalità a basso consumo (*shutdown*). Si entra in questa modalità quando si verifica una delle seguenti condizioni: il cavo RS-232 è scollegato oppure i trasmettitori delle periferiche collegate sono inattivi per più di 30 secondi. Il dispositivo si riaccende quando "sente" una transizione di livello valida in qualsiasi trasmettitore o ricevitore di ingresso. Il dispositivo è internamente dotato di un circuito elettronico regolatore di tensione a doppia pompa di carica. Questo fornisce in uscita tensioni di +5.5 V (raddoppio della pompa di carica) e di -5.5 V (pompa di carica invertente), senza utilizzare condensatori esterni. Il circuito a pompa di carica funziona in modalità discontinua: se le tensioni di uscita sono inferiori a +5.5 V, il circuito a pompa di carica è abilitato; se le tensioni di uscita sono superiori a +5.5 V, il circuito a pompa di carica è disabilitato.

In Figura 2.2.1 è riportato lo schema a blocchi dell'integrato, mentre nella Tabella 2.2.1 è presente la descrizione dei pin e la loro funzione.

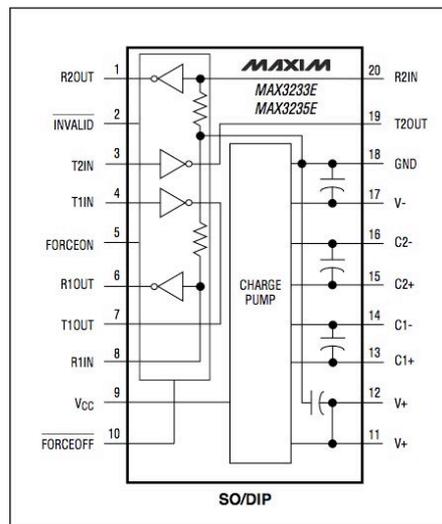


Figura 2.2.1. MAX3233E: schema a blocchi.

I trasmettitori presenti internamente al *chip* costituiscono dei traslatori invertenti di livello di tensione che convertono livelli di tensione in logica CMOS a livelli di tensione a 5 V compatibili con lo standard EIA/TIA-232. I ricevitori, invece, convertono i segnali presenti in ingresso con livelli di tensione di tipo RS-232 a livelli di tensione in uscita in logica CMOS.

Il dispositivo presenta inoltre un pin di uscita denotato con \INVALID che diviene attivo basso quando i livelli di tensione rilevati su tutti gli ingressi del ricevitore non rispettano lo standard RS-232.

Sulla scheda SERIALS i due circuiti integrati sono denotati con IC1 e IC2. In entrambi il pin \INVALID è lasciato flottante, mentre i pin FORCEON sono collegati direttamente a massa ed i pin \FORCEOFF alla tensione VCC (+3.3 V) tramite resistore di *pull-up*.

Maggiori informazioni possono essere trovate nel datasheet del dispositivo [MAX3233E, Dual RS-232 Transceivers with Internal Capacitors].

PIN	NAME	FUNCTION
1	R2OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs
6	R1OUT	
2	$\overline{\text{INVALID}}$	Invalid Signal Detector Output, active low. A logic high indicates that a valid RS-232 level is present on a receiver.
3	T2IN	TTL/CMOS Transmitter Outputs
4	T1IN	
5	FORCEON	Force-On Input, active high. Drive high to override AutoShutdown Plus, keeping transmitters and receivers active (FORCEOFF must be high) (Table 1).
7	T1OUT	RS-232 Transmitter Outputs
19	T2OUT	
8	R1IN	RS-232 Receiver Outputs
20	R2IN	
9	VCC	Supply Voltage (MAX3233E = +3.3V, MAX3235E = +5.0V)
10	$\overline{\text{FORCEOFF}}$	Force-Off Input, active low. Drive low to shut down transmitters, receivers, and charge pump. This overrides AutoShutdown Plus and FORCEON (Table 1).
11, 12	V+	+5.5V generated by the charge pump. Do not connect.
13	C1+	Positive terminal of the internal voltage-doubling charge-pump capacitor. Leave unconnected or connect to an external 0.1 μ F capacitor. See <i>Charge Pump</i> Section.
14	C1-	Negative terminal of the internal voltage-doubling charge-pump capacitor. Leave unconnected or connect to an external 0.1 μ F capacitor. See <i>Charge Pump</i> Section.
15	C2+	Positive terminal of the internal inverting charge-pump capacitor. Do not connect.
16	C2-	Negative terminal of the internal inverting charge-pump capacitor. Do not connect.
17	V-	-5.5V generated by the charge pump. Do not connect.
18	GND	Ground

Tabella 2.2.1. MAX3233E: descrizione e funzione dei pin.

Le tre interfacce seriali sono disponibili sui connettori plug J8, J9 e J10 da circuito stampato a quattro pin alloggiati sulla scheda SERIALS e rappresentati in Figura 2.2.2 (nella figura è rappresentato il solo connettore J10, essendo J8 e J9 simili ma con la nomenclatura dei segnali chiaramente diversa). Si noti che sul pin 1 di questi connettori è presente anche la tensione di alimentazione di +12 V, commutabile on/off, per la connessione ed il controllo di strumentazione esterna al sistema (VCC_AUX, VCC_3DACM e VCC_PAROS). La presenza di queste tensioni di alimentazione è segnalata dall'accensione del rispettivo diodo led a montaggio superficiale montato sulla scheda.

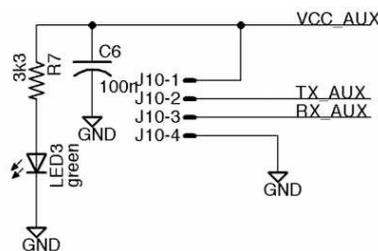


Figura 2.2.2. Connettore seriale J10 di tipo RS-232.

2.3 Porta seriale di tipo RS-485/RS-422

Il sistema di acquisizione è dotato di una porta seriale asincrona *half-duplex* di tipo RS-485/RS-422, con la presenza di un ricevitore differenziale. Essa è stata pensata principalmente per la ricezione dei dati NMEA provenienti da un ricevitore GPS remoto [Guardato *et al*, 2009] e per la marcatura temporale dei dati acquisiti dalla sensoristica locale. Tale scelta è dettata dal fatto che, per il sistema CUMAS, la ricezione e gestione dei dati GPS è affidata direttamente all'acquisitore Kinometrics-Quanterra Q330, installato in un contenitore a tenuta stagna facente parte del modulo sottomarino, mentre il ricevitore e l'antenna sono installati sulla struttura fuori acqua.

Il circuito integrato su cui si basa l'interfaccia è un MAX3471, prodotto dalla Maxim Integrated Products. Si tratta di un ricetrasmittitore half-duplex a bassissimo consumo per applicazioni su *bus* differenziali rispondenti agli standard RS-485/RS-422. Il consumo di corrente tipico è di solo 1.6 μA con una tensione di alimentazione di 3.6 V (con il ricevitore abilitato e il trasmettitore disabilitato). Nelle figure che seguono sono mostrate la configurazione dei pin con la loro descrizione.

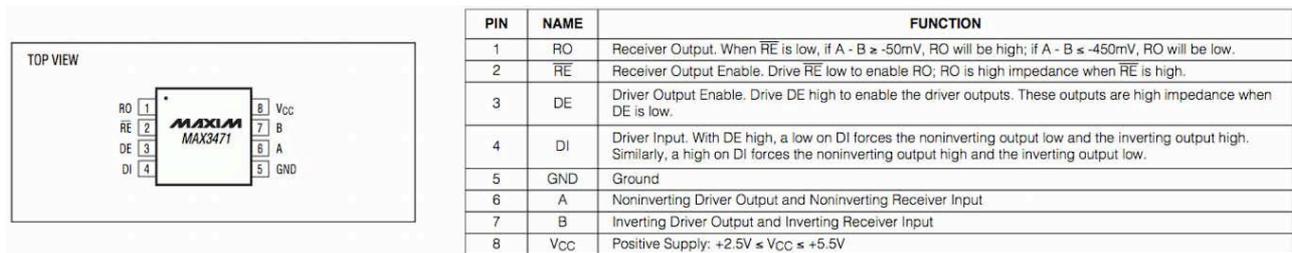


Figura 2.3.1. MAX3471: configurazione e descrizione dei pin.

Sulla scheda SERIALS il dispositivo è alimentato con la tensione di +5 V disponibile sul connettore maschio J3 a quattro pin. Sui pin di ingresso A e B, rispettivamente non invertente ed invertente, collegati tramite un cavo esterno innestato sul connettore J11, sono collegati i segnali RX+_{GPS} ed RX-_{GPS} , rispettivamente, provenienti direttamente dal ricevitore GPS esterno. I pin $\overline{\text{RE}}$ e DE sono posti entrambi a massa in maniera tale da abilitare il dispositivo alla sola ricezione dei dati seriali provenienti dal ricevitore, in quanto la sua gestione è affidata all'acquisitore Q330. Il collegamento tipico di una comunicazione half-duplex su *bus* RS-485 è rappresentato schematicamente nella figura che segue.

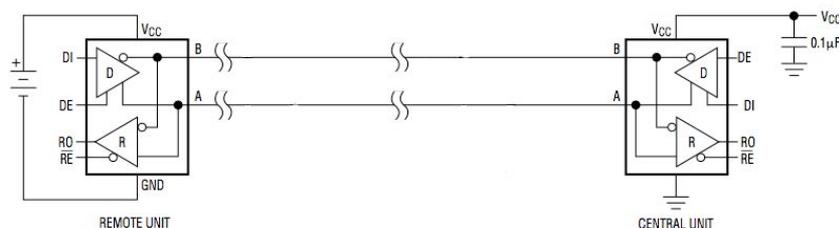


Figura 2.3.2. MAX3471: applicazione tipica (half-duplex).

Con i collegamenti appena illustrati, l'uscita digitale RO si porta a livello logico alto (1) se la differenza dei segnali di ingresso (A-B) è maggiore di -50 mV, altrimenti RO si porta a livello logico basso (0) se (A-B) è minore di -40 mV. La Figura 2.3.3 illustra quanto appena detto.

INPUTS			OUTPUT
RE	DE	A-B	RO
0	0	$\geq -0.05V$	1
0	0	$\leq -0.45V$	0
0	0	Open/Shorted	1
1	0	X	Z

X = Don't care
Z = Receiver output high impedance

Figura 2.3.3. MAX3471: tavola di verità in ricezione.

Dal momento che il dispositivo è alimentato con una tensione positiva di 5 V, il livello logico di uscita nello stato alto (1) è uguale a +5 V circa. È necessario pertanto ridurre questo livello ad una tensione di +3.3 V compatibile per essere accettata in ingresso dal microprocessore della scheda Netus G20. Questo viene ottenuto mediante l'ausilio del partitore di tensione costituito dai resistori R3-R4 visibile nella Figura 2.3.4. Si noti anche il resistore di terminazione in ingresso da 100 Ω (R45).

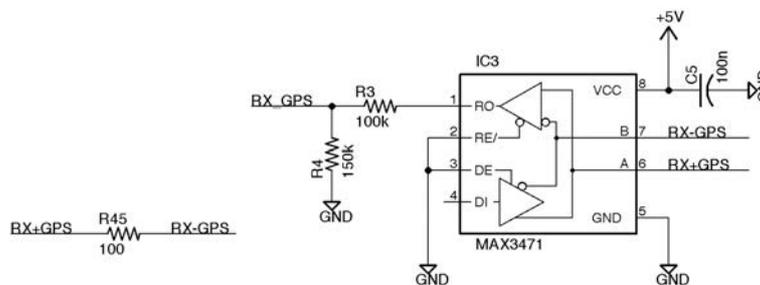


Figura 2.3.4. il ricevitore RS-485 della scheda SERIALS.

Nella figura che segue viene mostrato il ritardo di propagazione in ricezione per il dispositivo che al massimo si attesta intorno ai 12 μs.

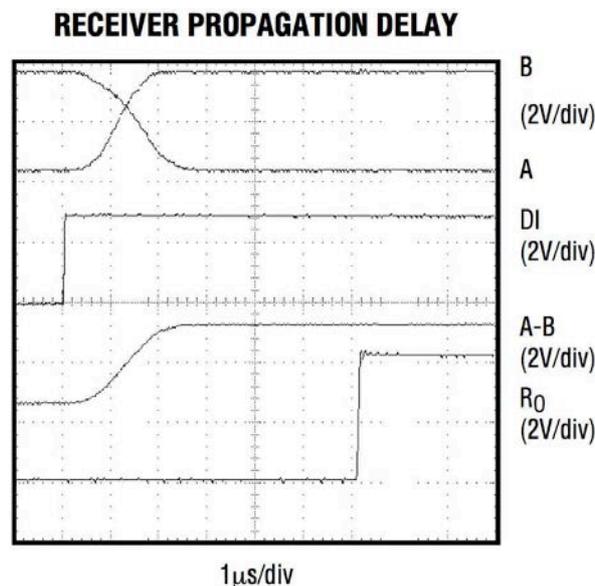


Figura 2.3.5. MAX3471: ritardo di propagazione in ricezione.

3. La scheda PIGTAIL: descrizione dettagliata

La scheda PIGTAIL è il secondo *shield* che va installato appena sopra la coppia di schede Fox Board G20- SERIALS, innestandola su quest'ultima mediante la coppia di *slot* denominata J6 e J7. Con questa scheda elettronica, il sistema si completa con:

- un convertitore analogico-digitale a 12-bit, ad otto canali multiplexati, di cui due canali disponibili per il monitoraggio di altrettanti segnali analogici in tensione provenienti da sensori esterni;
- la possibilità di misurare i consumi elettrici dei sensori collegati al sistema;
- la misura della temperatura ambientale;
- la misura dell'inclinazione del modulo;
- la misura dell'orientazione del modulo;
- la presenza di un sensore di anti-allagamento.

Il convertitore A/D presente a bordo della scheda (Paragrafo 3.5) viene usato anche per monitorare il consumo elettrico dei carichi e dei sensori esterni collegati al sistema di acquisizione (Paragrafo 3.1). Inoltre, esso converte le misure necessarie per il calcolo dell'angolo di inclinazione del sistema (*tilt*), ottenute mediante l'utilizzo di un sensore accelerometrico MEMS a due assi e ad elevata sensibilità.

La misura della temperatura ambientale viene effettuata da un sensore con uscita in digitale, capace di misurare temperature da $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, dotato di interfaccia I²C compatibile (Paragrafo 3.3).

La misura di *heading*, è effettuata attraverso una bussola digitale con uscita dati seriale su *bus* SPI. Si tratta di un sensore di campo magnetico a doppio asse che misura la direzione del modulo, espressa in gradi, rispetto al Nord magnetico terrestre (Paragrafo 3.4).

Un sensore di intrusione acqua viene utilizzato per salvaguardare tutta la strumentazione in caso di penetrazione di acqua nel contenitore dell'elettronica, ivi compreso il sistema di acquisizione.

Infine, un connettore di espansione (Paragrafo 3.8) consente di collegare al sistema un'ulteriore scheda di estensione - separata dal sistema - con la possibilità di rendere disponibile all'esterno sino a otto linee digitali di I/O e un'interfaccia seriale di tipo I²C (Paragrafo 3.2), eventualmente optoisolate.

In Figura 3.1 viene mostrata la scheda PIGTAIL completa di tutti i componenti. Le dimensioni fisiche sono le stesse indicate per le due schede descritte nei capitoli precedenti.

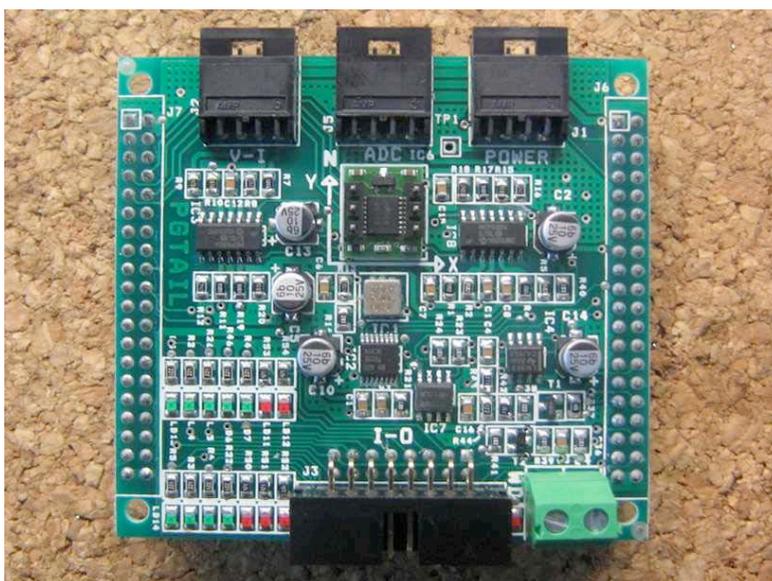


Figura 3.1. La scheda PIGTAIL (dimensioni reali).

Dallo schema a blocchi visibile in Figura 3.2 si nota che la scheda PIGTAIL necessita di una tensione di alimentazione esterna di 5 V. Sul connettore J1, è però disponibile - anche se solo di transito - anche l'alimentazione di 12 V trasportata dal cavo denominato CABLE_A.

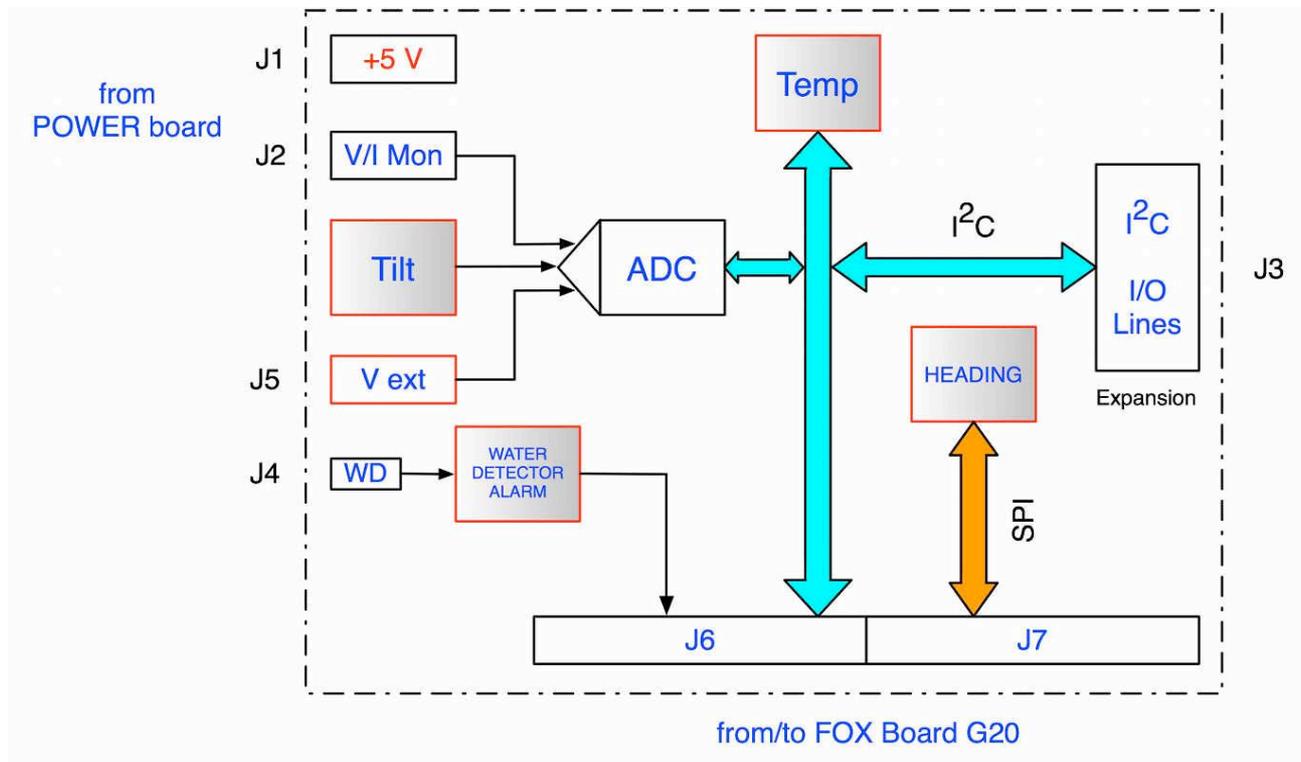


Figura 3.2. Schema a blocchi della scheda PIGTAIL.

3.1 Monitoraggio dei consumi per la strumentazione

Sulla scheda PIGTAIL è presente, come meglio descritto nel Paragrafo 3.5, un convertitore A/D a 12-bit usato anche per monitorare il consumo (misure di tensione e corrente) dei carichi e dei sensori esterni collegati al sistema di acquisizione. In particolare sono monitorati:

- tensione e corrente di alimentazione degli strumenti collegati, ed alimentati direttamente (alla tensione continua di +12 V) dal sistema di acquisizione (coppia VMON1, IMON1) ed il consumo del sistema stesso;
- tensione e corrente di uno o più carichi esterni alimentati direttamente (alla tensione continua di +12 V) dal sistema di acquisizione (coppia VMON2, IMON2);
- due tensioni continue analogiche provenienti da qualunque sorgente esterna (ADC1, ADC2), ad esempio da sensori con uscita di tensione analogica.

La nomenclatura utilizzata per i segnali di tensione e corrente è quella relativa alle tensioni disponibili sugli otto ingressi analogici dell'ADC. I segnali analogici di tensione IMON1,2 sono stati convertiti da correnti misurate attraverso l'utilizzo di due *shunt* di corrente e da una coppia di amplificatori per strumentazione evoluti.

La misura di tutte le tensioni avviene mediante prelievo diretto della tensione che viene ridotta da opportuni partitori di tensione resistivi di precisione e poi inviata ad amplificatori utilizzati come *buffer* e adattatori di impedenza (alla fine del Paragrafo 3.6). I partitori di tensione sono utilizzati per adattare i livelli di tensione a quelli degli ingressi dell'ADC (0 ÷ 2.5 V) in maniera tale da sfruttarne tutta la dinamica con la massima risoluzione possibile. Le due tensioni analogiche ADC1,2 - provenienti dalle uscite di eventuali sensori esterni al sistema - sono disponibili sul connettore a quattro pin denominato J5 della scheda PIGTAIL.

La misura delle correnti relative sia a tutti gli strumenti collegati al sistema (IMON1) sia a quella relativa ad un carico esterno (IMON2), viene fatta usando una coppia di circuiti come quello visibile in figura:

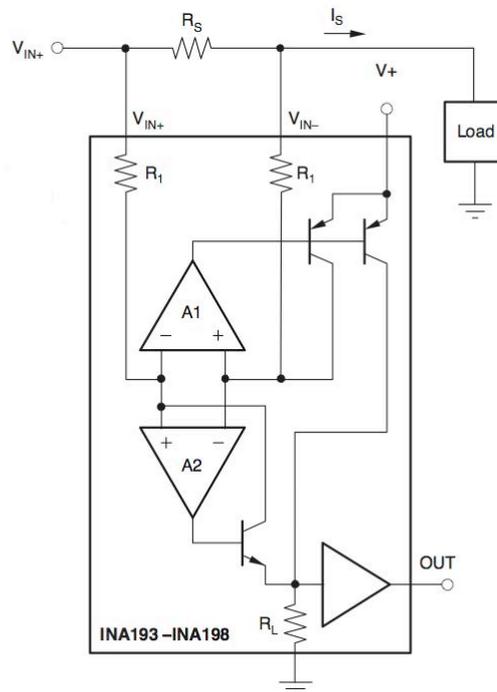


Figura 3.1.1. Circuito per la misura delle correnti.

Queste coppie di circuiti sono montati sulla scheda di alimentazione POWER; i segnali di tensione IMON1 e IMON2, disponibili come trasformazione da correnti, sono disponibili sul connettore J2 della scheda POWER.

La misura della corrente I_S (Figura 3.1.1) avviene attraverso una coppia di componenti costituita da un resistore di *shunt* R_S (50 m Ω , 1 W), collegato in serie alla linea di alimentazione dei carichi (Load), e da un dispositivo integrato che misura ed amplifica la differenza di potenziale presente sugli ingressi V_{IN+} e V_{IN-} .

Il circuito integrato utilizzato è il tipo INA197. Il dispositivo fa parte di una famiglia di monitor di corrente con uscita in tensione, in grado di misurare cadute di tensioni di modo comune, ai capi di un resistore di *shunt*, variabili da -16 V a +80 V, indipendentemente dalla tensione di alimentazione del dispositivo. Il guadagno di tensione in uscita è di 100 V / V. Esso funziona con una alimentazione positiva singola variabile da 2.7 V a 18 V, consumando una corrente di alimentazione inferiore a 1 mA. È disponibile in formato SOT23-5 e la piedinatura è visibile nella figura seguente.

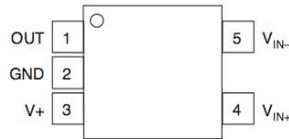


Figura 3.1.2. Piedinatura del dispositivo INA197.

I pin di ingresso, V_{IN+} e V_{IN-} , devono essere collegati il più vicino possibile al resistore di *shunt* per minimizzare qualsiasi resistenza in serie con la resistenza dello *shunt*. Maggiori informazioni possono essere trovate nel datasheet del dispositivo [INA193-8, Current Shunt Monitor].

Il circuito di ingresso del dispositivo può misurare con precisione una caduta di tensione ai capi del resistore di *shunt* superiore alla sua tensione di alimentazione ($V+ = +5$ V), per carichi alimentati con una tensione massima sino a +80 V. La corrente che circola nel resistore di *shunt* viene convertita in una tensione disponibile in uscita dal dispositivo (OUT). Questa tensione è limitata dalla tensione di alimentazione.

Sulla scheda PIGTAIL sono state utilizzate due coppie identiche formate da un resistore di *shunt* e da un convertitore corrente/tensione. Il fondo scala massimo della corrente circolante nel carico - e quindi nel resistore di *shunt* - che è possibile misurare è dato da:

$$I_S^{\max} = \frac{(V_{IN+} - V_{IN-})}{R_S} = \frac{V_{OUT}^{\max}}{G} \cdot \frac{1}{R_S}$$

ovvero:

$$I_S^{\max} = \frac{4 \text{ V}}{100 \text{ V/V} \cdot 0.05 \text{ } \Omega} = 800 \text{ mA}$$

Questa corrente provoca nel resistore di *shunt* una dissipazione di potenza termica inferiore al valore massimo tollerabile.

Le due tensioni monitorate - corrispondenti alle due correnti IMON1,2 - vengono dimezzate grazie all'ausilio di un partitore di tensione formato da due resistori dello stesso valore ohmico con tolleranza pari all'1 % e coefficiente di temperatura di 50 ppm/°C. I fondo scala delle tensioni ADC1 e ADC2 sono pari a circa 12.6 V massimi applicabili in ingresso.

3.2 Interfaccia seriale I²C

Sulla scheda PIGTAIL si fa uso dell'interfaccia seriale I²C resa disponibile dal processore ARM. Essa è usata per la gestione di un sensore di temperatura (Paragrafo 3.3) e del convertitore A/D a 12-bit (Paragrafo 3.5) ed i suoi segnali sono disponibili sul connettore di espansione (Paragrafo 3.8).

Il *bus* consiste di due linee: una linea dati bidirezionale (SDA) e una linea di *clock* (SCL). Entrambe le linee devono essere collegate ad una tensione di alimentazione positiva tramite un resistore di *pull-up*. Il protocollo è così definito:

- il trasferimento dei dati può essere avviato solo quando il *bus* non è occupato;
- durante il trasferimento dei dati, la linea dati può cambiare solo quando la linea di *clock* è a livello logico basso;
- un cambiamento nella linea di dati, mentre la linea di *clock* è alta, verrà interpretato come un segnale di controllo.

Per *bus* non occupato (*bus not-busy*) si intende che entrambe le linee, dati e *clock*, sono a livello logico alto. Ogni trasferimento dei dati è avviato con una condizione di START e terminato con una condizione di STOP. La condizione di START è così definita: un cambiamento nello stato della linea dati, dal livello logico alto a quello basso, mentre il *clock* è nello stato logico alto. La condizione di STOP, invece, è così definita: un cambiamento nello stato della linea dati, dal livello logico basso a quello alto, mentre il *clock* è nello stato logico alto (Figura 3.2.1).

Lo stato della linea dati rappresenta un dato valido quando, dopo una condizione di START, la linea dati rimane stabile - cioè non cambia - per tutta la durata del periodo alto del segnale di *clock*. I dati sulla linea SDA cambieranno solo durante il periodo basso del segnale di *clock*. Il numero di byte di dati trasferiti tra la condizione di START e quella di STOP è illimitato.

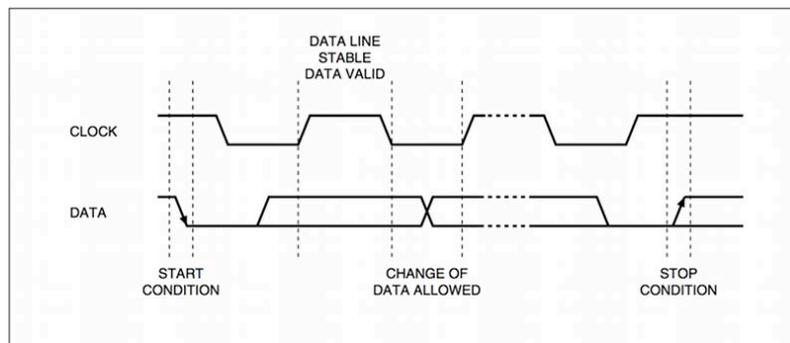


Figura 3.2.1. Sequenza di trasferimento dei dati sul *bus*.

Le informazioni vengono trasmesse a livello di byte e seguite da un bit di conferma (ACK o NACK). Questo bit di conferma è un livello logico basso posto sulla linea SDA del *bus* da parte del dispositivo *slave*, mentre il dispositivo *master* genera un ulteriore impulso di *clock* (Figura 3.2.2). Lo *slave* indirizzato è obbligato a generare una conferma dopo la ricezione di ogni byte. A questo punto, lo *slave* in questione riconosce che deve mandare a livello logico basso la linea SDA durante il periodo alto dell'impulso di *clock*. Naturalmente, devono essere presi in considerazione i tempi necessari di *setup* e *hold* per le linee SDA e SCL forniti dalle specifiche del *bus*.

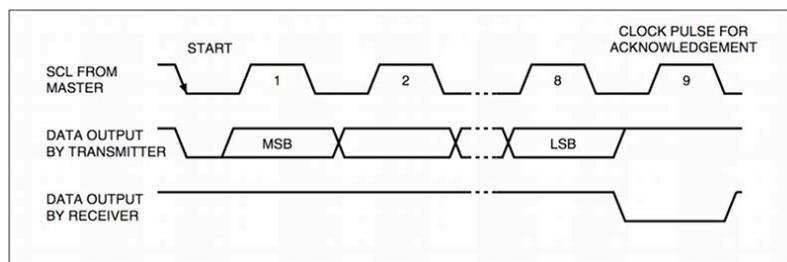


Figura 3.2.2. Sequenza di *acknowledgment*.

3.3 Misura della temperatura

La misura della temperatura ambientale viene effettuata dal sensore STTS75 montato sulla scheda PIGTAIL. Questo dispositivo, prodotto dalla ST Microelectronics e compatibile con il più noto LM75, è un sensore di temperatura digitale realizzato in tecnologia CMOS e di alta precisione, con *watchdog* termico, capace di misurare temperature da -55 °C a +125 °C con un'accuratezza massima di ± 2 °C nel *range* di temperature compreso tra -25 °C e +100 °C. Il dispositivo è dotato di un trasduttore di temperatura al silicio di tipo *band-gap* e di un convertitore analogico-digitale integrato di tipo sigma-delta con risoluzione massima di 12-bit. La comunicazione con il mondo esterno avviene attraverso un'interfaccia seriale a due fili di tipo I²C compatibile, con frequenza di *clock* massima di 400 kHz.

Con una tensione di alimentazione continua di 3.3 V, il sensore assorbe tipicamente una corrente di funzionamento di soli 75 μ A (con possibilità di spingere il dispositivo in *shutdown*, disponendo così di un ulteriore risparmio energetico). La tensione di alimentazione deve essere compresa tra 2.7 V e 5.5 V continui. La risoluzione con cui il sensore rileva le misure termiche è definibile dall'utente e può variare da 9 a 12-bit. Dal momento che un bit viene preso dal segno, le letture di temperatura digitalizzate saranno disponibili con incrementi di 0.5 °C sino a 0.0625 °C, rispettivamente. Il dispositivo è dotato di un pin digitale con uscita *open-drain*, programmabile come *interrupt* o come comparatore di soglia termica. È disponibile in formato SO8 ed MSOP. La calibrazione termica del componente avviene in fabbrica e i valori forniti sono espressi in gradi centigradi.

La disposizione dei pin è mostrata nella figura seguente.

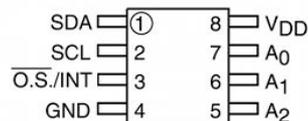


Figura 3.3.1 Disposizione dei pin.

Il pin denominato SDA, di tipo *open-drain*, è il pin di ingresso/uscita per i dati destinato alla comunicazione seriale attraverso il *bus* I²C, mentre il pin denominato SCL è il pin di ingresso per il *clock* del *bus*. Al pin V_{DD} viene collegata l'alimentazione del sensore, positiva rispetto al pin GND collegato alla massa. I pin denominati A0, A1 e A2 sono dedicati per l'indirizzamento seriale del dispositivo attraverso i tre bit meno significativi del *byte* di indirizzo per l'interfaccia I²C. Questi pin possono essere collegati a V_{DD} o GND per determinare l'indirizzo *hardware* del componente; in tal modo, si potrà accedere sino a otto sensori simili sullo stesso *bus* senza conflitto (sulla scheda PIGTAIL, tutti e tre i pin sono collegati a V_{CC} = 3.3 V). Infine, il pin di uscita digitale denominato \OS/INT, anch'esso di tipo *open-drain*, è un pin utilizzabile come segnale di *interrupt* o di allerta per segnalare che la temperatura del sistema ha superato certi limiti programmabili dall'utente. Questo pin, se usato, necessita di un resistore di *pull-up* verso l'alimentazione, altrimenti rimane non collegato.

La tabella che segue riassume la descrizione appena fatta.

Pin	Symbol/Name	Type/Direction	Description
1	SDA ⁽¹⁾	Input/ Output	Serial data input/output
2	SCL	Input	Serial clock input
3	$\overline{\text{OS/INT}}$ ⁽¹⁾	Output	Over-limit signal/interrupt alert output
4	GND	Supply ground	Ground
5	A ₂	Input	Address2 input
6	A ₁	Input	Address1 input
7	A ₀	Input	Address0 input
8	V _{DD}	Supply power	Supply voltage (2.7V to 5.5V)

1. SDA and $\overline{\text{OS/INT}}$ are open drain.

Tabella 3.3.1 Descrizione dei pin.

Nella figura che segue viene riportato lo schema a blocchi del sensore.

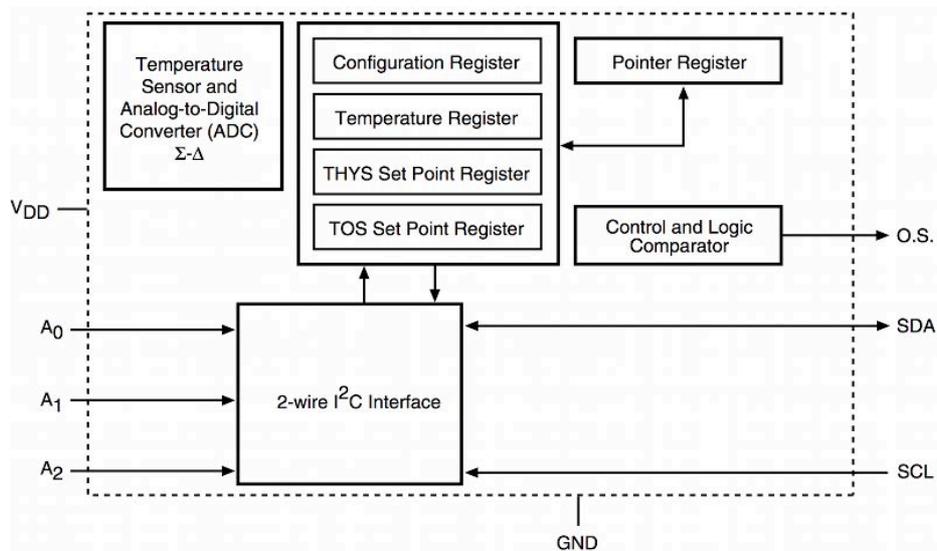


Figura 3.3.2 Schema a blocchi del sensore.

Dalla figura si osserva che sono presenti cinque registri, un comparatore con logica integrata, un ADC e l'interfaccia seriale a due fili. Di seguito si illustra il principio di funzionamento.

All'accensione il sensore si predispone per la misura della temperatura con una risoluzione di 9-bit, questo per mantenere la compatibilità *software* con il più vecchio dispositivo STLM75. Immediatamente inizia la misura della temperatura e la conversione in digitale di questo valore viene memorizzata nel registro TEMP (Tabella 3.3.7) come un numero binario a 16-bit in complemento a due. Il valore digitale può essere letto, in ogni momento, accedendo a questo registro (di sola lettura). Il bit più significativo (MSB, bit 15) del valore digitale indica il segno della temperatura. I bit da 0 a 3 di questo registro sono fissati, a livello *hardware*, a livello logico '0'. Quando il sensore è configurato con una risoluzione di 12-bit, allora i 12 bit più significativi (dal bit 15 al bit 4) del registro TEMP contengono il dato digitale relativo alla temperatura misurata. Per risoluzioni più basse, i restanti bit meno significativi conterranno il livello logico '0'. La figura che segue mostra un esempio tra diverse temperature ed i loro corrispondenti valori, espressi per varie risoluzioni.

Temperature								Digital output (HEX)	
	Sign	Number of Bits used by Conversion Resolution		9	10	11	12		Always Zero
	12-Bit Resolution							0000	
	11- Bit Resolution						0	0000	
	10-Bit Resolution					0	0	0000	
	9-Bit Resolution				0	0	0	0000	
+125°C	0	111	1101	0	0	0	0	0000	7D00
+25.0625°C	0	001	1001	0	0	0	1	0000	1910
+10.125°C	0	000	1010	0	0	1	0	0000	0A20
+0.5°C	0	000	0000	1	0	0	0	0000	0080
0°C	0	000	0000	0	0	0	0	0000	0000
-0.5°C	1	111	1111	1	0	0	0	0000	FF80
-10.25°C	1	111	0101	1	1	1	0	0000	F5E0
-25.0625°C	1	110	0110	1	1	1	1	0000	E6F0
-55°C	1	100	1001	0	0	0	0	0000	C900

Tabella 3.3.2. Relazione tra temperatura e dato digitale in uscita.

Il dato digitale della conversione viene poi confrontato con i valori limite memorizzati all'interno dei registri di lettura/scrittura T_{OS} e T_{HYS} e, quindi, l'uscita \OS/INT verrà impostata in maniera opportuna se il valore misurato eccede tali limiti. Lo stato di questa linea è impostato di *default* come attiva bassa, ma il suo comportamento può essere cambiato impostando il bit di polarità, denominato POL, del registro di configurazione.

Il dispositivo può funzionare anche in modalità *one-shot*, ossia esso offre la possibilità di effettuare una singola misura della temperatura per poi mettersi nello stato di *shutdown*, consumando così una corrente di solo 1 μA . A questa modalità si accede impostando il bit denominato OSM (One-Shot Mode) del registro di configurazione CONF.

Il sensore STTS75 possiede, come detto, cinque registri; uno di essi è il registro puntatore (Pointer), ad un byte e di sola scrittura, utilizzato per indicare alla logica del dispositivo su quale degli altri quattro registri operare, descritti in dettaglio più avanti. Essi sono:

- registro di configurazione (CONF);
- registro di temperatura (TEMP);
- registro di superamento soglie (T_{OS});
- registro di temperatura di isteresi (T_{HYS}).

Il formato del registro puntatore è riportato nella tabella seguente.

MSB							LSB
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0	0	0	0	0	0	P1	P0
							Pointer

Tabella 3.3.3. Formato del registro Pointer.

I due bit meno significativi (P0 e P1) consentono di specificare a quale dei restanti quattro registri si vuole accedere, mentre gli altri bit devono essere impostati tutti al livello logico '0'. La tabella che segue mostra la mappa degli indirizzi disponibili, selezionati attraverso questi due bit, ed i relativi registri interessati.

Pointer Value (H)	P1	P0	Name	Description	Width (Bits)	Type (R/W)	Power-on default	Comments
00	0	0	TEMP	Temperature Register	16	Read only	N/A	To store Measured Temperature Data
01	0	1	CONF	Configuration Register	8	R/W	00	
02	1	0	T_{HYS}	Hysteresis Register	16	R/W	4800	Default = 75°C
03	1	1	T_{OS}	Over-temperature Shutdown	16	R/W	5000	Set point for Over-temperature Shutdown (T_{OS}) limit default = 80°C

Tabella 3.3.4. Mappa degli indirizzi per i registri interni.

All'accensione il contenuto del registro Pointer è 00h. Le informazioni contenute in questo registro vengono mantenute sino alla successiva scrittura in esso o allo spegnimento del sensore. Una volta impostato il registro puntatore si può poi accedere ad uno degli altri quattro registri.

Il registro di configurazione (CONF), ad un byte e di lettura/scrittura, il cui formato è visibile nella Tabella 3.3.5, viene usato per:

- impostare la risoluzione del dispositivo (Tabella 3.3.6), attraverso i due bit RC0 e RC1;
- spingere il sensore nella modalità *one-shot* (bit OSM = 1);
- spingere il sensore in modalità *shutdown* (bit SD = 1);
- impostare la polarità ed il modo operativo del pin di uscita \OS/INT.

All'accensione il suo contenuto è 00h.

Byte	MSB							LSB
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
STTS75	OSM	RC1	RC0	FT1	FT0	POL	M	SD
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

Keys: SD =Shutdown Control Bit FT1 =Fault Tolerance1 Bit
M =Thermostat Mode⁽¹⁾ RC0 =Resolution Conversion0 Bit
POL =Output Polarity⁽²⁾ RC1 =Resolution Conversion1 Bit
FT0 =Fault Tolerance0 Bit OSM =One-shot mode bit

1. Indicates Operation mode; 0 = Comparator mode, and 1 = Interrupt mode (see [Comparator mode](#) and [Interrupt mode on page 13](#)).

2. The $\overline{\text{OS/INT}}$ is active-low ('0').

Tabella 3.3.5. Formato del registro di configurazione (CONF).

RC1	RC0	Resolution		Conversion Time (max)
0	0	9-bit	0.5°C	85ms
0	1	10-bit	0.25°C	170ms
1	0	11-bit	0.125°C	340ms
1	1	12-bit	0.0625°C	680ms

Tabella 3.3.6. Configurazione delle risoluzioni.

Il registro di temperatura (TEMP) è un registro a due byte di sola lettura. Come anzidetto, esso contiene il valore digitale della temperatura misurata salvata come numero binario in complemento a due. Il contenuto di questo registro viene sovrascritto ogni volta che termina una conversione. A seconda della risoluzione scelta per la conversione, solo i 9÷12-bit più significativi di questo registro contengono la lettura digitale, mentre i restanti bit sono posti a zero (Tabella 3.3.7). Il bit più significativo (bit 15), denotato con SB (*Sign-Bit*), rappresenta il bit di segno; esso vale zero se la lettura è positiva, uno altrimenti.

Bytes	MS Byte								LS Byte							
	MSB	THSB							TLSB							LSB
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	
STTS75	SB	TMSB	TD	TD	TD	TD	TD	TD	9-bit LSB	10-bit LSB	11-bit LSB	12-bit LSB	0	0	0	0

Keys: SB =Two's complement Sign Bit
TMSB =Temperature MSB
TLSB =Temperature LSB
TD =Temperature Data

Tabella 3.3.7. Formato del registro di temperatura (TEMP).

Il registro T_{OS} è un registro a due byte di lettura/scrittura che memorizza, in complemento a due, il valore superiore di temperatura di allarme programmabile dall'utente (Tabella 3.3.8). Il valore di *default* per questo registro è di 80 °C. Il formato di questo registro è identico a quello del registro TEMP. I suoi quattro bit meno significativi sono cablati a zero, quindi i dati scritti in questi bit saranno ignorati. Il bit più significativo (SB) contiene il segno per il valore digitale della temperatura; il bit 14 (TMSB) contiene il bit più significativo per la temperatura. L'impostazione della risoluzione per il convertitore analogico-digitale integrato nel sensore determina il numero di bit del registro T_{OS} utilizzati. Ad esempio, per una risoluzione a 9-bit, l'allarme di temperatura è definito dai nove bit meno significativi di T_{OS} , e tutti i bit rimanenti sono non influenti.

Il registro T_{HYS} è un registro a due byte di lettura/scrittura che memorizza, in complemento a due, il valore inferiore di temperatura di allarme programmabile dall'utente (Tabella 3.3.8). Il valore di *default* per questo registro è di 75 °C. Il formato ed il suo comportamento con la risoluzione sono identici per quelli visti per il registro T_{OS} .

Bytes	MS Byte								LS Byte							
	MSB	THSB							TLSB							LSB
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	
STTS75	SB	TMSB	TD	TD	TD	TD	TD	TD	9-bit LSB	10-bit LSB	11-bit LSB	12-bit LSB	0	0	0	0

Tabella 3.3.8. Formato dei registri T_{OS} e T_{HYS} .

Le operazioni di scrittura e di lettura dei registri avvengono tramite interfaccia seriale a due fili I²C. Il protocollo richiede che un dispositivo *master* sul *bus* avvii e controlli tutte le operazioni. Questo genera anche il segnale di *clock* (SCL) per tutti gli altri dispositivi, detti *slave*, connessi al *bus*. Il sensore STTS75 è un dispositivo *slave* dotato di indirizzo specifico (Tabella 3.3.9). Entrambi i dispositivi *master* e *slave* sono in grado di inviare e ricevere i dati sul *bus*. Durante le operazioni, per ogni ciclo di *clock* viene trasmesso un bit di dati. Tutte le operazioni consistono nella trasmissione di nove bit; otto bit di dati, seguiti da un bit di conferma (ACK) o da un bit di non conferma (NACK) da parte del dispositivo di ricezione. Non ci sono cicli di *clock* inutilizzati durante qualsiasi operazione, quindi non ci devono essere interruzioni nel flusso di dati.

MSB							LSB
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1	0	0	1	A2	A1	A0	R/W

Tabella 3.3.9. Indirizzamento del sensore di temperatura.

Per leggere il contenuto di qualunque registro del sensore STTS75, è necessario che il dispositivo *master* trasmetta sul *bus* l'indirizzo dello *slave* (Figura 3.3.3). L'ottavo bit trasmesso, dopo la condizione di START, è un bit di controllo (R/W = 0, perché il *master* "scrive" sul *bus* l'indirizzo di uno *slave*). A seguire, il *master* genera l'impulso di *clock* per avere la conferma da parte di un dispositivo *slave* ricevente che assevera il suo indirizzo. Se sul *bus* c'è un dispositivo che risponde all'indirizzo determinato dalla combinazione *hardware* A0÷A2, e *software*, bit 4÷7, allora quest'ultimo risponde con un ACK.

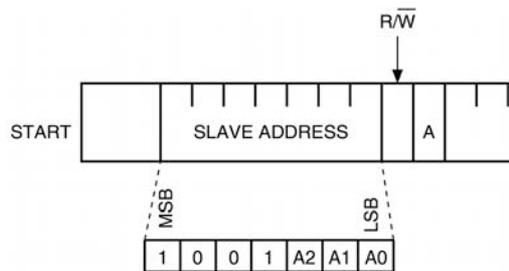


Figura 3.3.3. Indirizzamento del sensore.

Nella figura che segue sono illustrate le temporizzazioni relative ad una delle modalità tipiche di lettura del sensore.

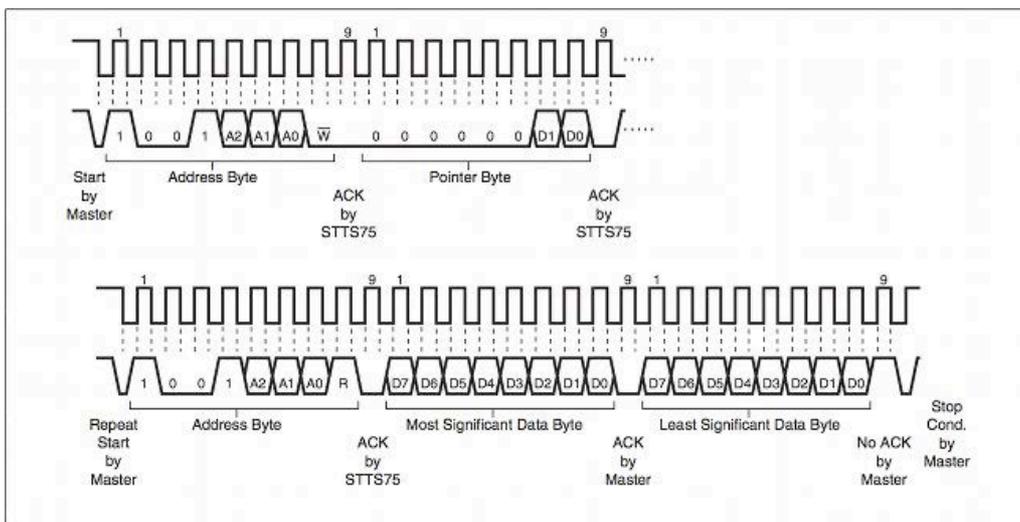


Figura 3.3.4. Lettura dati da un registro.

Per scrivere in uno dei registri del sensore, il dispositivo *master*, dopo la condizione di START ed il corretto indirizzamento dello *slave*, pone sul *bus* il bit R/W = 0. Questo indica al dispositivo indirizzato che il byte successivo deve essere scritto nel registro puntatore di indirizzo (Pointer). Questa modalità, ad esempio per il registro CONF, è illustrata nella figura che segue.

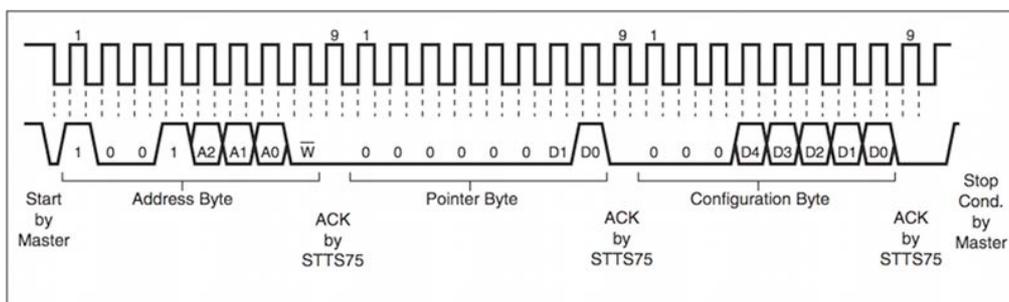


Figura 3.3.5 Scrittura dati nel registro CONF.

Maggiori informazioni possono essere trovate nel datasheet del dispositivo [STTS75, Digital temperature sensor and thermal watchdog].

3.4 Bussola interna

Come detto nell'Introduzione di questo documento, uno degli utilizzi del sistema di acquisizione qui proposto è finalizzato per l'utilizzo in sistemi per la registrazione di segnali sismici su fondali marini, del tipo OBS (Ocean Bottom Seismometer) a basso consumo. Si rende pertanto necessario, sia in fase di installazione sia durante tutto il periodo di funzionamento, conoscere a priori se l'OBS posto sul fondale marino - e solidale alla struttura meccanica di supporto - si è spostato, per qualche motivo, dalla sua posizione originaria, oppure si è inclinato perché è più o meno sprofondato nel sedimento su cui è stato poggiato. Appare quindi cruciale, specialmente per l'acquisizione di segnali sismici da velocimetri o accelerometri, dotare il sistema di una bussola magnetica per avere una misura dell'angolo di rotazione (*heading*) rispetto al Nord magnetico terrestre, e di un inclinometro per la stima dell'inclinazione.

Per la misura di *heading*, il sistema di acquisizione è stato dotato di una bussola digitale con uscita dati seriale su *bus* del tipo SPI a tre linee. Il sensore utilizzato è un HM55B della Hitachi; si tratta di un sensore di campo magnetico (*compass*) a doppio asse che misura la direzione del modulo, espressa in gradi, rispetto al Nord magnetico terrestre. Il sensore è del tipo SMD nel formato SO16. Il dispositivo è montato su una piccola basetta (0.5 x 0.425 pollici) assieme ad un regolatore di tensione con uscita di 3.3 V continui. Il tutto si presenta come un circuito integrato nel formato DIP a sei pin. L'acquisizione delle misure effettuate dal sensore avviene attraverso una comunicazione seriale sincrona, con segnale di *clock* generato dal processore ARM. Il dispositivo presenta una sensibilità, rispetto alle variazioni di intensità del campo magnetico terrestre, dell'ordine dei microtesla (μT).

La misura del campo magnetico terrestre viene effettuata simultaneamente lungo i due assi orizzontali del componente (in circa 40 ms); essa rileva le componenti della forza del campo magnetico terrestre F_s parallele ad essi (Figura 3.4.1). Sull'asse x il dispositivo misura $F_s \cdot \cos \theta$, sull'asse y riporta $F_s \cdot \sin \theta$. Per risolvere θ in un angolo in senso orario da Nord ed espresso in radianti, occorre calcolare l'*arctan* ($-y/x$). Per convertire in gradi, basta dividere per 360.

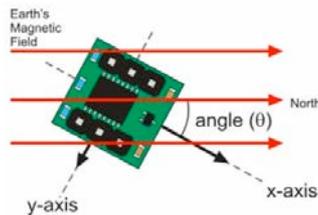


Figura 3.4.1. La misura dell'angolo θ .

Il dispositivo effettua le misure convertendole internamente in valori digitali con segno a 11-bit, in complemento a due, in termini di $\mu\text{T}/\text{bit}$. Il dispositivo è progettato per restituire un valore di 1 per un campo magnetico a Nord di $1 \mu\text{T}$ parallelo ad uno dei suoi assi. Se il campo magnetico è a Sud, il valore sarà -1 (valori nominali).

È importante sottolineare il fatto che questo dispositivo è sensibile a fonti magnetiche esterne, per cui è necessario adottare delle precauzioni tenendo il sistema di acquisizione in oggetto lontano da possibili fonti di campi elettromagnetici elevati, tipo: trasformatori, relè a solenoide, motori elettrici, etc. Dalle specifiche sembra che il dispositivo non può essere utilizzato per temperature al di sotto di $0 \text{ }^\circ\text{C}$ [HM55B, Compass Module]. Nella figura che segue sono riportati un'immagine del dispositivo con i relativi pin ed il loro significato.

- (1) Din - Serial data input
- (2) Dout - Serial data output
- (3) GND - Ground -> 0 V
- (4) CLK - Synchronous clock input
- (5) /EN - Active-low device enable
- (6) Vcc - +5 V power input

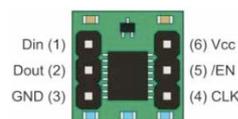


Figura 3.4.2. Disposizione e significato dei pin.

Il modulo completo è alimentato con una tensione continua di 5 V e consuma una corrente di 7 mA nello stato attivo, 3 mA quando in *stand-by*, ed un picco istantaneo di 45 mA su un transiente temporale della durata di 5 μ s.

Il protocollo di comunicazione del dispositivo è molto semplice e prevede solo tre comandi che sono riportati nella tabella seguente:

Binary Value	Quantity
0000	Reset device
0001	Start measurement
0011	Report measurement status (and transmit the measurement if it's ready)

Tabella 3.4.1. Comandi per il sensore HM55B.

Il microprocessore attiva la linea $\overline{\text{EN}}$ abilitando il sensore a ricevere i comandi, porta alta la linea di *clock* CLK e poi trasferisce il bit sulla linea D_{in} . Dopo aver trasferito i restanti tre bit, il microprocessore porta a livello logico basso la linea CLK e a livello logico alto la linea $\overline{\text{EN}}$. I bit sono trasferiti sul *bus* con il bit più significativo trasferito per prima. Nella figura che segue viene riportata la sequenza relativa al comando di *reset* del dispositivo:

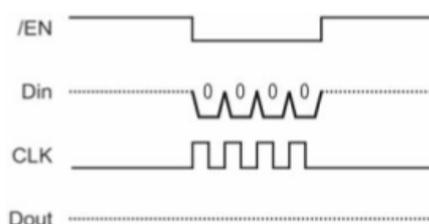


Figura 3.4.3. Comando di *reset*.

A questo punto il microprocessore invia al sensore il comando che lo informa di iniziare la conversione e, a questo scopo, tiene attiva la linea $\overline{\text{EN}}$ (Figura 3.4.4).

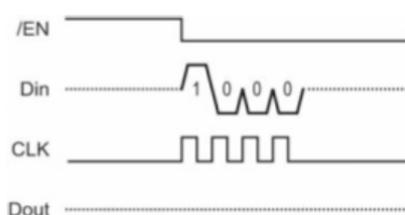


Figura 3.4.4. Comando di inizio misura.

Dopodiché, il microprocessore, tenendo la linea di *clock* CLK a livello basso, forma un impulso positivo sulla linea $\overline{\text{EN}}$ (basso-alto-basso) ed invia al sensore il comando di richiesta stato, attivando opportunamente la linea CLK e generando la sequenza di *clock* necessaria (Figura 3.4.5).



Figura 3.4.5. Risposta che la misura è andata a buon fine.

Il sensore può fornire in risposta uno dei tre stati elencati nella tabella che segue:

Binary Value	Quantity
Bits - 3210	3 and 2 indicate measurement completion, 1 and 0 indicate measurement errors
1100	11 -> Measurement completed; 00 -> no errors
00XX	Measurement still in progress, or the device has been reset.
XX11	/EN did not receive low-high-low signal between start and report commands

Tabella 3.4.2. Possibili risposte ai comandi.

Quando la misura è completa, e se non ci sono errori, il sensore risponde che la misura è stata effettuata ed allora il microprocessore legge la sequenza di 22-bit; i primi 11-bit rappresentano la misura del campo magnetico terrestre lungo l'asse x , mentre i restanti 11-bit rappresentano quella lungo l'asse y (in entrambe le misure i bit più significativi sono trasmessi per prima). Dopo che tutti i bit sono stati letti (Figura 3.4.6), il microprocessore termina la sequenza di *clock* e disattiva la linea /EN portandola a livello logico alto. Da misure effettuate, si è visto che un ciclo completo di lettura - con la generazione di tutti i segnali necessari a livello *hardware* - dura meno di 100 ms.

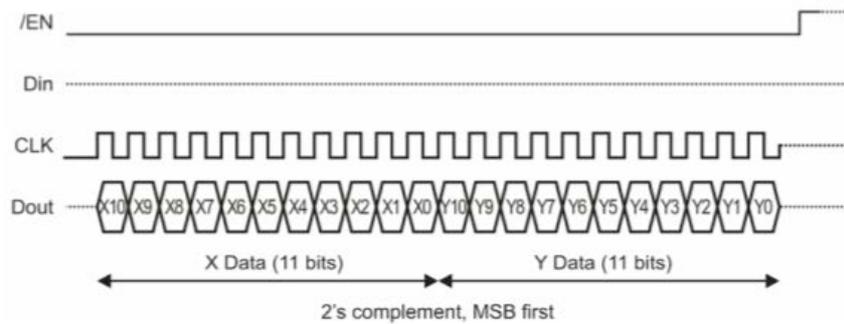


Figura 3.4.6. Letture delle misure.

Nel modulo di acquisizione il sensore di *heading* è montato sulla scheda PIGTAIL (denotato con IC6) ed è interfacciato al microprocessore, così come visibile in Figura 3.4.7 (pin 7 e 9 del connettore J7 della scheda Fox Board G20). Si noti che sul pin di uscita D_{out} del sensore (SPI_MISO) è montato un partitore di tensione per adattare a 3.3 V i livelli logici con quelli del microprocessore ARM. Nessuna manipolazione, invece, è presente sul pin di ingresso D_{in} (SPI_MOSI), CLK (SPI_CLK) e /EN (\EN_HEAD), essendo i livelli logici di uscita del microprocessore compatibili con quelli di ingresso del sensore.

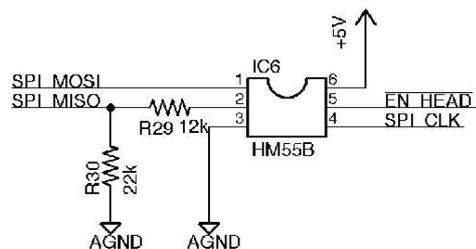


Figura 3.4.7. Interfacciamento tra il sensore di *heading* e il microprocessore.

Nella tabella che segue viene riportato un riepilogo dei collegamenti tra il sensore di *heading* ed il microprocessore:

HM55B Pin Name	HM55B Pin Number	Net Name	Netus G20 Connector. Pin Number	Netus G20 PortName	Netus G20 Id
/EN	5	\EN_HEAD	J7.8	PB3	67
CLK	4	SPI CLK	J7.7	PB2	66
D _{in}	1	SPI MOSI	J7.9	PB0	64
D _{out}	2	SPI MISO	J7.10	PB1	65

Tabella 3.4.3. Collegamenti tra HM55B e microprocessore.

Maggiori informazioni possono essere trovate nel datasheet del dispositivo.

3.5 Convertitore analogico-digitale

Per la misura delle tensioni e correnti di alimentazione e per la misura dell'inclinazione del modulo (Paragrafo 3.6), si è fatto uso del convertitore analogico-digitale (ADC) siglato ADS7828. Si tratta di un ADC a 12-bit con *multiplexer* a otto canali, ad alimentazione singola e basso consumo, e dotato di interfaccia seriale I²C (disponibile nel formato TSSOP-16). Il dispositivo è un classico convertitore A/D con registro ad approssimazioni successive (SAR, *Successive Approximation Register*). L'architettura è basata sulla redistribuzione delle capacità, congiunta ad un amplificatore *sample-and-hold* (S/H Amp) presente internamente. L'ADC dispone sia di un riferimento di tensione interno (+2.5 V) che di un circuito per la generazione del *clock* asincrono. Nelle figure che seguono sono riportati: lo schema a blocchi semplificato (Figura 3.5.1) con la configurazione e la descrizione dei pin (Figura 3.5.2).

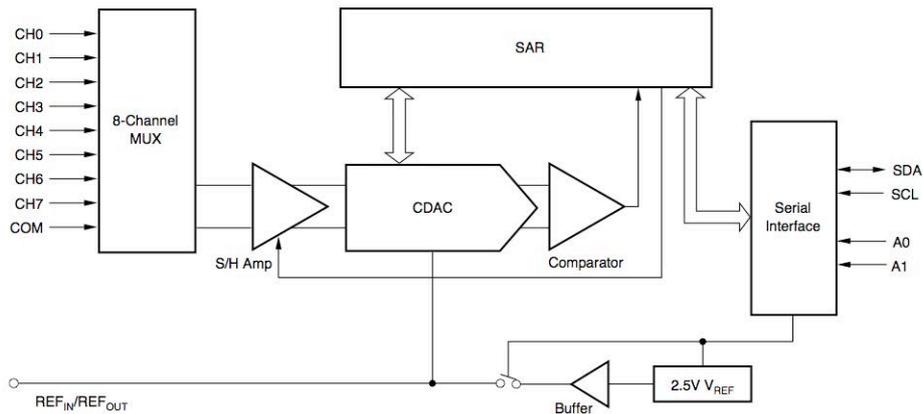


Figura 3.5.1. Schema a blocchi dell'ADC.

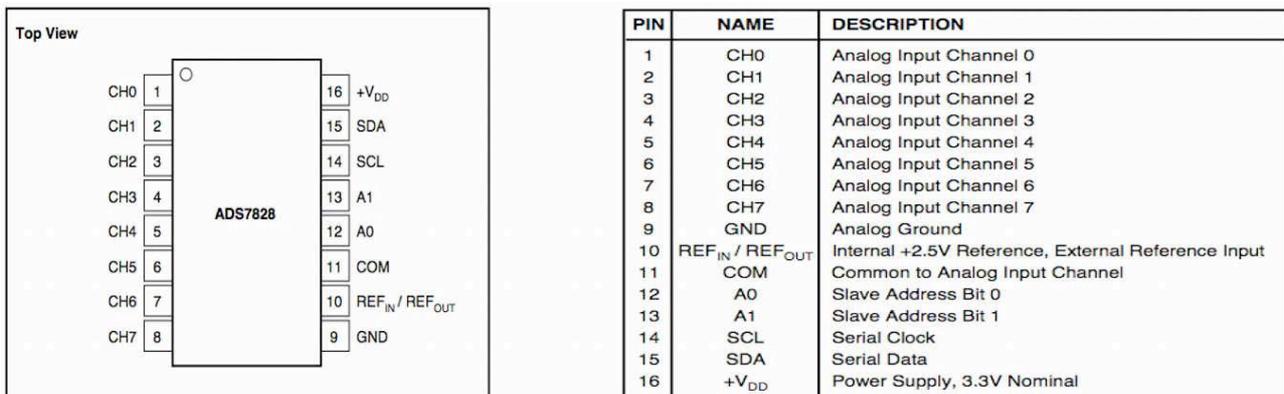


Figura 3.5.2. Configurazione e descrizione dei pin.

Il dispositivo presenta un errore di non linearità integrale massimo (INL) di +/- 1LSB, con errori massimi di *offset* e di guadagno pari a +/- 2LSB.

Il principio di funzionamento di questo tipo di ADC è comunemente noto. In aggiunta, quando il convertitore entra in modalità di mantenimento (*hold*), la tensione sul pin CH_x, selezionato dal *multiplexer* integrato, viene catturata sulla rete interna di condensatori. La corrente di ingresso sugli ingressi analogici dipende dal *rate* di conversione del dispositivo. Durante il periodo di campionamento (*sampling*), la tensione di ingresso deve caricare il condensatore interno di campionamento. Dopo che il condensatore è completamente carico, non c'è ulteriore corrente di ingresso. La quantità di carica trasferita dalla sorgente analogica di ingresso al convertitore è funzione del *rate* di conversione.

Il convertitore può funzionare con un riferimento di tensione interno da +2.5 V o uno esterno. Se viene alimentato con una tensione continua V_{DD} di +5 V, allora è necessario un riferimento di tensione esterno di +5 V in maniera tale da coprire la dinamica completa disponibile per ingressi analogici di tensione (unipolari positive) compresi nell'intervallo che va da 0 V a V_{DD} .

La comunicazione del convertitore con un dispositivo *master* avviene mediante l'utilizzo dell'interfaccia I²C, precedentemente dettagliata nel paragrafo inerente la descrizione del sensore di temperatura. Dopo che il dispositivo *master* ha generato la condizione di START sul *bus* seriale, esso invia il byte di indirizzo. I cinque bit più significativi dell'indirizzo *slave* (quello dell'ADC) sono pre-impostati in fabbrica su 10010 (Figura 3.5.3). I successivi due bit del byte di indirizzo, A1 e A0, sono quelli relativi alla selezione *hardware* del dispositivo mediante i corrispondenti pin. Appare evidente che un massimo di quattro convertitori può essere collegato sul *bus* senza generare conflitti *hardware* nella comunicazione. Il pin A0 del convertitore è stato collegato a massa, mentre il pin A1 è stato collegato a V_{DD} . L'ultimo bit del byte di indirizzo (R/W) definisce l'operazione da eseguire sull'ADC. Quando è impostato su '1' significa che si vuole effettuare sull'ADC un'operazione di lettura; quando è impostato su '0' è invece selezionata un'operazione di scrittura. Dopo la condizione di START, l'ADC monitora la linea SDA del *bus*; il *master* trasmette il byte di indirizzo. Dopo aver ricevuto il codice 10010, il convertitore controlla i bit di selezione ed il bit R/W; se i bit di selezione sono uguali a quelli impostati in *hardware* con A0 e A1, allora l'ADC emette un segnale di conferma (ACK) sulla linea SDA e la comunicazione può avere luogo.

MSB	6	5	4	3	2	1	LSB
1	0	0	1	0	A1	A0	R/W

Figura 3.5.3. Byte di indirizzo (Address Byte) per l'ADC.

La modalità di funzionamento del convertitore è determinata da un byte di comando che è illustrato in Figura 3.5.4, con qui elencata la descrizione dei singoli bit:

- SD: ingressi Single-Ended o Differenziali $\left\{ \begin{array}{l} 0: \text{ per ingresso differenziale,} \\ 1: \text{ per ingresso } \textit{single-ended}; \end{array} \right.$
- C2 ÷ C0: selezione del Canale di ingresso (CH0 ÷ CH7);
- PD1 - PD0: selezione Power-Down;
- X: non utilizzati.

MSB	6	5	4	3	2	1	LSB
SD	C2	C1	C0	PD1	PD0	X	X

Figura 3.5.4. Byte di comando (Command Byte) per l'ADC.

La Tabella 3.5.1 riporta la selezione della modalità di risparmio energetico (Power-Down), mentre la Tabella 3.5.2 illustra la modalità di indirizzamento degli otto canali *single-ended* disponibili (oppure, quattro canali differenziali).

PD1	PD0	DESCRIPTION
0	0	Power Down Between A/D Converter Conversions
0	1	Internal Reference OFF and A/D Converter ON
1	0	Internal Reference ON and A/D Converter OFF
1	1	Internal Reference ON and A/D Converter ON

Tabella 3.5.1. Selezione modalità Power-Down.

Una volta che l'ADC è stato correttamente indirizzato ed il byte di comando è stato inviato ad opera del *master*, il dispositivo accende la sezione di conversione A/D e, non appena quest'ultimo riceve il bit PD0 del byte di comando impostato ad '1', hanno inizio le conversioni. Se il byte di comando è corretto, l'ADC risponderà con un ACK.

I dati possono essere letti dall'ADC, ad opera del dispositivo *master*, trasmettendo un nuovo byte di indirizzo ma con il bit R/W stavolta impostato a '1'. Il risultato a 12-bit relativo alla conversione A/D del canale corrispondente viene restituito in due byte (Figura 3.5.5), dove D11 e D0 sono, rispettivamente, il MSB ed il LSB della conversione. Il BYTE 0 viene inviato per primo, seguito dal BYTE 1.

CHANNEL SELECTION CONTROL												
SD	C2	C1	C0	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	COM
0	0	0	0	+IN	-IN	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	1	-	-	+IN	-IN	-	-	-	-	-
0	0	1	0	-	-	-	-	+IN	-IN	-	-	-
0	0	1	1	-	-	-	-	-	-	+IN	-IN	-
0	1	0	0	-IN	+IN	-	-	-	-	-	-	-
0	1	0	1	-	-	-IN	+IN	-	-	-	-	-
0	1	1	0	-	-	-	-	-IN	+IN	-	-	-
0	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-IN	+IN	-
1	0	0	0	+IN	-	-	-	-	-	-	-	-IN
1	0	0	1	-	-	+IN	-	-	-	-	-	-IN
1	0	1	0	-	-	-	-	+IN	-	-	-	-IN
1	0	1	1	-	-	-	-	-	-	+IN	-	-IN
1	1	0	0	-	+IN	-	-	-	-	-	-	-IN
1	1	0	1	-	-	-	+IN	-	-	-	-	-IN
1	1	1	0	-	-	-	-	-	+IN	-	-	-IN
1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	+IN	-IN

Tabella 3.5.2. Selezione del canale e della modalità (Single-ended o Differenziale).

	MSB	6	5	4	3	2	1	LSB
BYTE 0	0	0	0	0	D11	D10	D9	D8
BYTE 1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Figura 3.5.5. Bytes relativi alla conversione A/D.

La figura che segue descrive la comunicazione tra il *master* (microprocessore ARM) e l'ADC nella modalità Fast o Standard (F/S).

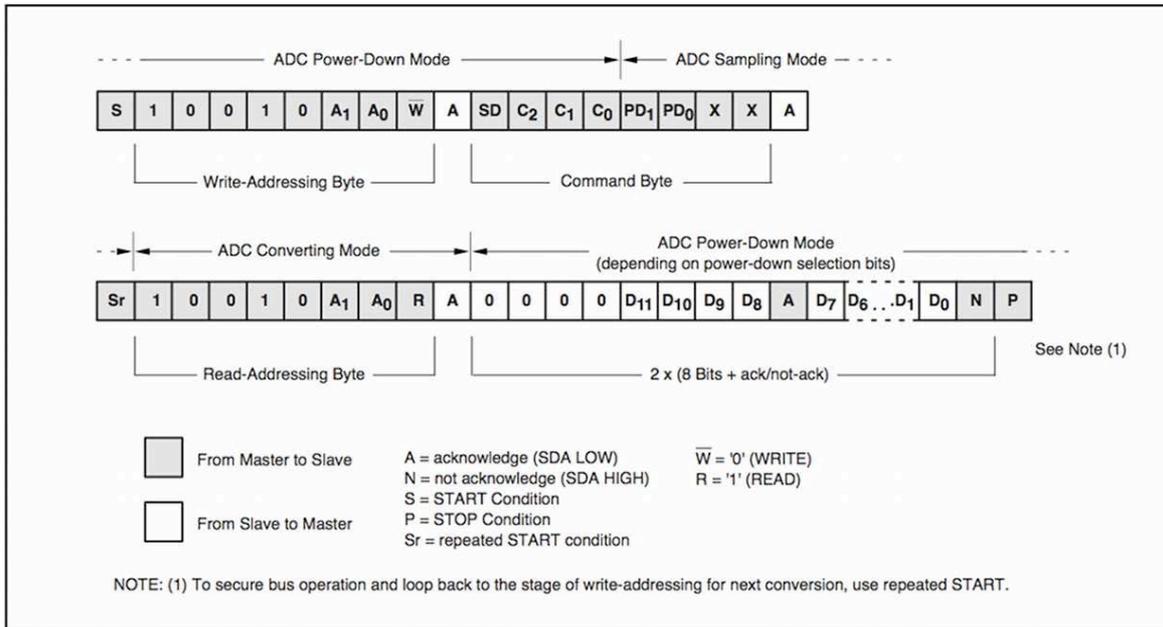


Figura 3.5.6. Tipica sequenza di lettura nella modalità F/S.

Per ottenere prestazioni ottimali, bisogna prestare cura alla disposizione fisica (*layout*) del circuito ADS7828 in fase di realizzazione del circuito stampato. L'architettura SAR è sensibile ai cambiamenti repentini (*glitches*) sia sulle linee di alimentazione, sia della tensione di riferimento e sia sui collegamenti verso massa. Pertanto, durante una singola conversione A/D, i transienti di tensione possono facilmente influenzare il risultato della conversione. Questi *glitches* potrebbero essere originati da alimentatori *switching*, da linee digitali prossime al dispositivo, etc. È necessario, quindi, che l'alimentazione dell'ADC sia "pulita" e ben by-passata verso massa dall'utilizzo di un condensatore ceramico da 0.1 μF e di uno elettrolitico da 10 μF , posizionati il più vicino possibile alla linea di alimentazione dell'ADC. Il pin GND deve essere collegato a un punto di massa "pulita". Il *layout* del PCB prevederà due linee di massa: un piano di massa analogica (AGND), dedicato alla parte analogica del convertitore e a circuiti analogici associati, ed uno di massa digitale (DGND), dedicato ai circuiti digitali e al microprocessore, accoppiati tra loro mediante l'utilizzo di opportuni induttori.

Nel modulo di acquisizione il convertitore A/D (denotato con IC2) è montato sulla scheda PIGTAIL e collegato direttamente all'interfaccia I²C del microprocessore ARM (Figura 3.5.7). I collegamenti VMON1(2), IMON1(2) e ADC1(2) sono stati già illustrati nel Paragrafo 3.1, mentre i segnali PITCH e ROLL saranno descritti nel Paragrafo successivo.

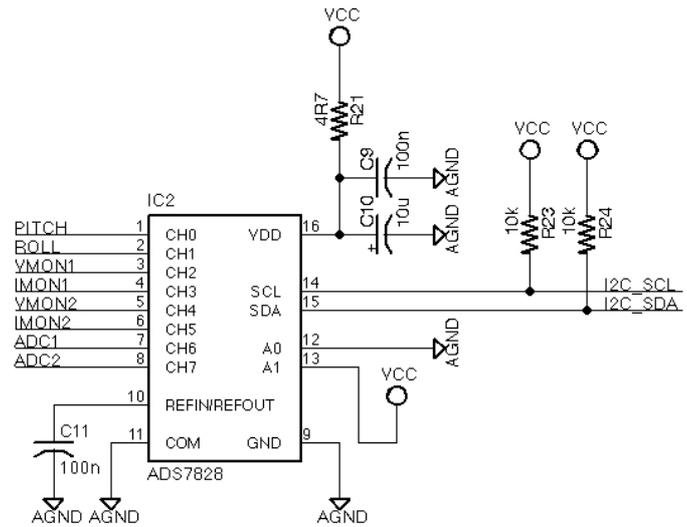


Figura 3.5.7. Circuiteria di contorno del convertitore A/D.

Ulteriori informazioni possono essere trovate nel datasheet del dispositivo [ADS7828, 12-Bit, 8-Channel Sampling Analog-to-Digital Converter with I²C Interface].

3.6 Misura di *tilt*

Nel Paragrafo 3.4 si sono giustificati i motivi dell'utilizzo, a bordo del sistema di acquisizione descritto, di un sensore di *heading* e di uno di *tilt*. La misura del *tilt*, ovvero delle componenti dell'inclinazione di un oggetto rispetto al piano orizzontale (*pitch* e *roll*), può essere effettuata mediante l'utilizzo di un sensore accelerometrico MEMS (Micro Electro-Mechanical System) - sotto forma di circuito integrato - dotato di certe caratteristiche tecniche. Prima di descrivere l'accelerometro usato per questa funzionalità, capiamo come questi possono essere utilizzati per misurare l'inclinazione di un oggetto.

È risaputo che gli accelerometri MEMS possono misurare accelerazioni sia statiche, come il *tilt*, sia dinamiche, come per esempio le vibrazioni delle strutture). L'accelerazione di gravità è utilizzata come *input* per determinare l'inclinazione di un oggetto. Per ottenere stime di *tilt* con la massima risoluzione, è richiesto un accelerometro ad elevata sensibilità e con un fondo scala di misura, in termini di *g* ($1\text{ g} = 9.8\text{ m/s}^2$), relativamente basso. Solitamente, tutti gli accelerometri MEMS sono in grado di misurare un'accelerazione statica nel *range* che va da 1 g a -1 g , a cui corrispondono inclinazioni di -90° e di $+90^\circ$, rispettivamente, rispetto ad un asse di sensibilità.

La scelta di un accelerometro per questo particolare tipo di misura dipende dall'angolo di inclinazione massimo che si vuole apprezzare per il sistema che dovrà essere monitorato nell'applicazione finale. Questo per consentire di raggiungere il massimo grado di risoluzione, per una data soluzione, a causa della non linearità della tecnologia costruttiva degli accelerometri su *chip* di silicio, a partire da un certo angolo di inclinazione, che tra poco vedremo. Innanzitutto, è necessario conoscere l'asse di sensibilità per l'accelerometro (un esempio per un accelerometro MEMS triassiale viene riportato in Figura 3.6.1). Per ottenere la risoluzione maggiore per grado di inclinazione, il circuito integrato deve essere montato con l'asse sensibile parallelo al piano di movimento in cui si vuole avere maggiore sensibilità. Per esempio, se l'intervallo di misura dell'inclinazione va da 0° a 45° , ed il PCB - su cui è alloggiato il sensore - è montato perpendicolarmente alla forza di gravità, la soluzione migliore è quella di scegliere un accelerometro MEMS con sensibilità sull'asse Z. Questo sarà maggiormente chiaro osservando la funzione di trasferimento di un accelerometro [Freescale Semiconductor, AN3107].

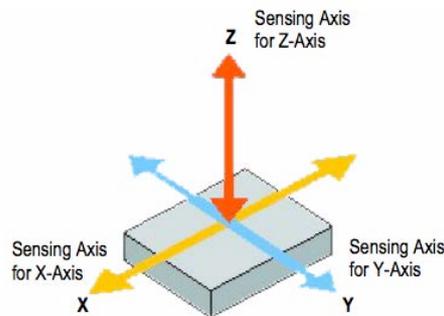


Figura 3.6.1. Assi di sensibilità per un accelerometro MEMS triassiale.

Come si vede nella Figura 3.6.2, la funzione di trasferimento tipica di accelerometri MEMS di tipo capacitivo non è lineare ma meglio si approssima ad una funzione seno. La figura mostra la tensione di uscita dell'accelerometro per gradi di inclinazione compresi tra -90° e $+90^\circ$. La variazione in gradi di *tilt* corrisponde direttamente a un cambiamento nell'accelerazione dovuta alla variazione della componente di gravità che agisce sul corrispondente asse di sensibilità dell'accelerometro. La pendenza della curva rappresenta la sensibilità del dispositivo. A partire da un certo angolo in poi la sensibilità diminuisce. A causa di questa non-linearità, è necessario conoscere questo angolo limite e scegliere un accelerometro con maggiore sensibilità e risoluzione nella zona lineare della caratteristica di trasferimento. Si noti che, un accelerometro a doppio asse di sensibilità, montato nel piano orizzontale, è utile solo per la misura dell'angolo di inclinazione tra -45° e $+45^\circ$.

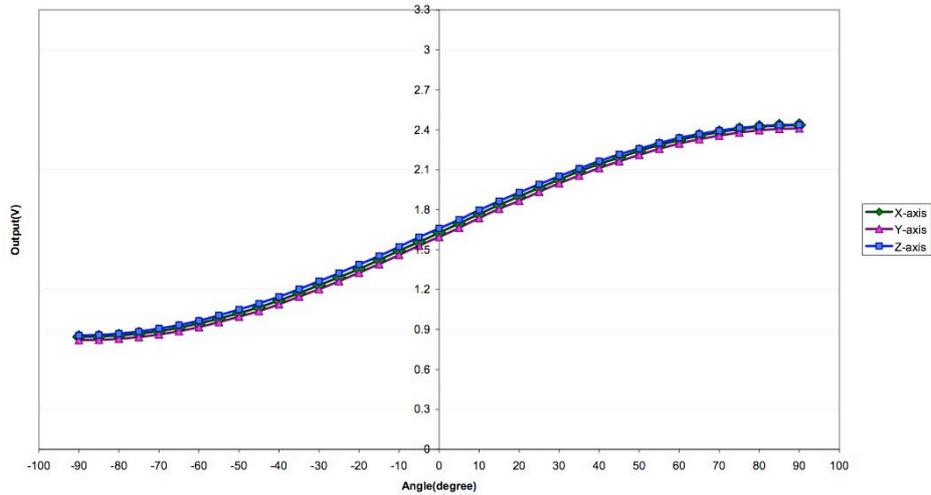


Figura 3.6.2. Caratteristica di trasferimento per un accelerometro triassiale.

Nel caso di un accelerometro a due assi (XY) montati perpendicolarmente alla forza di gravità, il calcolo del *tilt* è limitato ad un asse di sensibilità. Come mostrato, ad esempio, nella Figura 3.6.3 di destra, l'accelerometro è inclinato lungo l'asse X . L'asse Y rimane a 0 g in corrispondenza ad un giro completo dell'asse X intorno a Y .

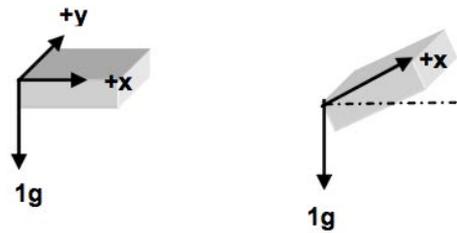


Figura 3.6.3. Accelerometro a due assi con *tilt* su un asse.

Se un solo asse (asse X , ad esempio) viene utilizzato per determinare l'angolo θ di inclinazione dell'accelerometro, montato perpendicolarmente alla gravità e fissato all'oggetto di cui si vuole valutare l'inclinazione, allora, nella zona di linearità della caratteristica di trasferimento, vale la relazione seguente:

$$V_{OUTx} = V_{OFF} + S \cdot 1g \cdot \text{sen}\theta \quad (1)$$

dove:

V_{OUTx} (espressa in Volt) è la tensione analogica di uscita dell'asse X di sensibilità dell'accelerometro;

V_{OFF} è la tensione di *offset* (Volt @ $0g$, valore costante), ed S è la sensibilità dell'asse di misura dell'accelerometro, espressa in V/g .

V_{OFF} è giustificata dal fatto che tutti gli accelerometri presentano un *offset* di tensione per accelerazione nulla.

Risolviendo per l'angolo θ si ottiene:

$$\theta = \text{arcsen}\left(\frac{V_{OUTx} - V_{OFF}}{S}\right) \quad (2)$$

Un altro svantaggio della misura del *tilt* con asse singolo è rappresentato dal fatto che è impossibile conoscere la differenza tra due angoli di inclinazione che provocano la stessa tensione in uscita dall'accelerometro. L'uscita è una funzione seno, così - per esempio - sarebbe impossibile sapere da un'uscita in accelerazione con 0.5 g di lettura se l'accelerometro è stato inclinato di 30 ° o di 150 °. Si dovrebbe essere consapevoli anche del corretto orientamento dell'accelerometro e avere un senso per il quadrante di inclinazione. Questo svantaggio è superato eseguendo la misura usando due, oppure tre, assi di inclinazione [Freescale Semiconductor, AN3461].

L'accelerometro usato per la misura del *tilt* del modulo di acquisizione, e montato sulla scheda PIGTAIL, è l'integrato ADXL203 della Analog Devices. Si tratta di un dispositivo integrato monolitico di alta precisione, a basso consumo (700 μ A @ $V_S = 5$ V), a doppio asse di sensibilità con uscite in tensione analogiche. Il sensore presenta un fondo scala di ± 1.7 g ed è in grado di misurare sia accelerazioni dinamiche sia accelerazioni statiche [ADXL203, Rev. A.], e quindi può essere utilizzato come sensore di *tilt*. Il rumore elettronico di fondo tipico è di 110 μ g / $\sqrt{\text{Hz}}$, che consente a segnali inferiori ad 1 mg (corrispondenti a 0.06 ° di inclinazione) di essere risolti in una larghezza di banda limitata (<60 Hz). Quest'ultima viene selezionata montando degli opportuni condensatori esterni (C_X , C_Y) al dispositivo. Il sensore è disponibile nel formato LCC a 8 pin. Nella figura che segue è riportato lo schema a blocchi.

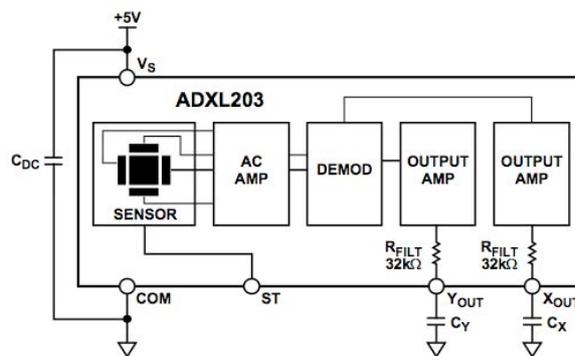


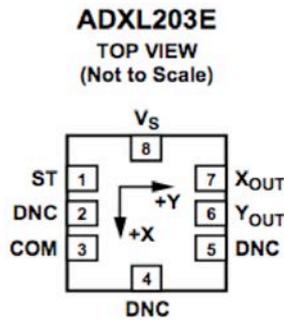
Figura 3.6.4. Schema semplificato dell'accelerometro ADXL203.

Il dispositivo contiene un sensore di polisilicio di tipo MEMS ed i relativi circuiti di condizionamento del segnale, implementando una architettura *open-loop* per la misura dell'accelerazione. I segnali di uscita consistono in tensioni analogiche proporzionali all'accelerazione a cui viene sottoposto il circuito. Esso è in grado di misurare sia accelerazioni positive sia negative.

La struttura sensibile, realizzata in polisilicio, è costruita ed impiantata sulla parte superiore del *wafer* di silicio del dispositivo integrato. Le molle in polisilicio sono sospese alla struttura sulla superficie del *wafer* e sviluppano una resistenza contro le forze di accelerazione. La flessione della struttura è misurata con un condensatore differenziale (uno per ogni asse di sensibilità) che è costituito da piastre (armature) fisse indipendenti e piastre collegate alla massa in movimento. Le piastre fisse sono pilotate da onde quadre sfasate di 180 °. L'accelerazione a cui è sottoposto il dispositivo devia il fascio e sbilancia il condensatore differenziale, con conseguente modificazione dell'onda quadra in uscita la cui ampiezza viene ad essere proporzionale all'accelerazione. A valle del sensore è presente un circuito che utilizza tecniche di demodulazione sensibili alla fase del segnale e che viene utilizzato per rettificare il segnale in modo da determinare anche la direzione dell'accelerazione.

L'uscita del demodulatore è amplificata e portata fuori dal *chip* attraverso un resistore interno da 32 k Ω (uno per ogni asse di sensibilità). A questo punto, si può impostare la larghezza di banda del segnale di uscita dell'accelerometro mediante l'aggiunta di un condensatore (uno per ogni asse di sensibilità). Questo filtro migliora la risoluzione delle misure e aiuta a prevenire fenomeni di *aliasing*.

Nelle figure che seguono sono illustrati la disposizione e la nomenclatura con la descrizione dei pin.



Pin No.	Mnemonic	Description
1	ST	Self Test
2	DNC	Do Not Connect
3	COM	Common
4	DNC	Do Not Connect
5	DNC	Do Not Connect
6	Y _{OUT}	Y Channel Output
7	X _{OUT}	X Channel Output
8	V _S	3 V to 6 V

Figura 3.6.5. Disposizione e descrizione dei pin.

Per la maggior parte delle applicazioni, un singolo condensatore (C_{DC}) da $0.1 \mu\text{F}$ disaccoppia adeguatamente l'accelerometro dal rumore presente sulla linea di alimentazione (tra V_S e COM). In aggiunta è stato inserito un resistore da 47Ω in serie alla linea di alimentazione ed un condensatore al tantalio di *bypass* verso massa (da $10 \mu\text{F}$) in parallelo a C_{DC} .

Per limitare la banda del segnale devono essere aggiunti ai pin di uscita, X_{OUT} e Y_{OUT} dei condensatori che implementano un filtro passa-basso per l'*antialiasing* e la conseguente riduzione del rumore. La larghezza di banda a 3 dB è data da:

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi \cdot 32k\Omega \cdot C_{(X,Y)}}$$

La larghezza di banda scelta per l'accelerometro determina anche la risoluzione in accelerazione (ovvero, la più piccola variazione di accelerazione rilevabile). Nel caso specifico $C_X = C_Y = 0.1 \mu\text{F}$, quindi la larghezza di banda è di 50 Hz. Il rumore dell'accelerometro in questione presenta le caratteristiche spettrali del rumore bianco di tipo Gaussiano, che contribuisce ugualmente a tutte le frequenze ed è descritto in termini di $\mu\text{g} / \sqrt{\text{Hz}}$ (il rumore è proporzionale alla radice quadrata della larghezza di banda dell'accelerometro). Per l'applicazione in questione il rumore picco-picco è inferiore ad 1 mg.

Una delle applicazioni più popolari di questo accelerometro è la misura del *tilt*. Esso utilizza la forza di gravità come un vettore di *input* per determinare l'inclinazione di un oggetto nello spazio. L'accelerometro è più sensibile alla misura del *tilt* quando il suo asse di sensibilità è perpendicolare alla forza di gravità, cioè parallela alla superficie della terra. Quindi, con i due assi (X e Y) paralleli alla superficie della terra, esso è in grado di misurare il *pitch* e *roll*. Una volta che il segnale in uscita dall'accelerometro è stato convertito in (digitale) una accelerazione che varia tra -1 e +1 g, l'inclinazione in gradi è calcolata come segue:

$$\text{PITCH} = \arcsen(A_X / 1 \text{ g})$$

$$\text{ROLL} = \arcsen(A_Y / 1 \text{ g})$$

Nella figura che segue viene mostrato il circuito applicativo utilizzato con l'accelerometro MEMS (denotato con IC1) montato sulla scheda PIGTAIL.

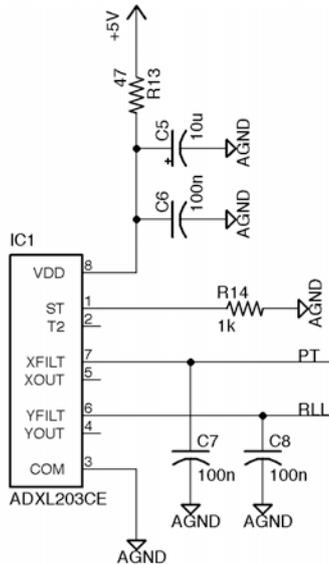


Figura 3.6.6. Circuiteria di contorno dell'accelerometro.

Si noti che il pin di test (ST) dell'accelerometro non è stato utilizzato. Si tratta comunque di un pin digitale (attivo alto) che, se viene portato a livello logico alto, sottopone la struttura interna del MEMS ad un'accelerazione fittizia (non naturale) pari a 750 mg che può essere monitorata in uscita per stabilire il corretto funzionamento del dispositivo.

Prima di interfacciare al convertitore A/D le tensioni analogiche (unipolari positive) relative alle misure di *pitch*, *roll*, tensioni di monitoraggio carichi, tensioni e correnti di monitoraggio esterne (convertite in tensione), queste vengono fatte transitare per due amplificatori integrati a basso consumo utilizzati come *buffer* (guadagno = 1) e pilota per adattarne i livelli di impedenza, presentando quest'ultimi elevata impedenza di ingresso e bassa impedenza di uscita. Per questo scopo è stata utilizzata una coppia di circuiti integrati siglati MCP6G04 della Microchip Technology, il cui schema a blocchi è visibile in Figura 3.6.7.

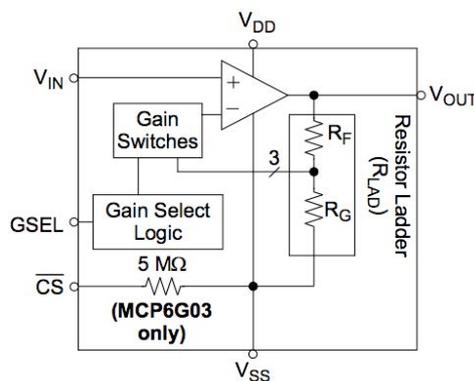


Figura 3.6.7. MCP6G04: schema a blocchi.

Il dispositivo in questione è un amplificatore quadruplo non invertente con guadagno selezionabile. Questo può essere configurato indipendentemente per guadagni di 1 V / V, 10 V / V e di 50 V / V attraverso i pin di selezione guadagno GSEL_x. Il pin denominato \CS (Chip Select), non è disponibile per il circuito MCP6G04.

L'amplificatore quadruplo MCP6G04 è disponibile nel formato SOIC-14 e TSSOP-14. Nella figura che segue viene mostrata la disposizione dei pin.

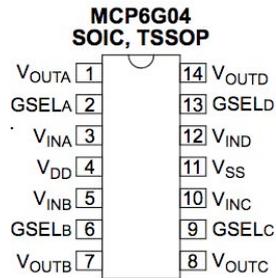


Figura 3.6.8. MCP6G04: disposizione dei pin.

Il dispositivo presenta quattro amplificatori con ingressi e uscite *rail-to-rail* ed un consumo di corrente tipico di soli 110 μA . L'alimentazione, in corrente continua, può variare da +1.8 V a +5.5 V ed il *range* di temperatura di funzionamento va da -40 °C a +125 °C.

I pin di uscita ($V_{\text{OUT}x}$) sono sorgenti di tensione a bassa impedenza ed il cui valore dipende dal guadagno selezionato per ciascun amplificatore: $V_{\text{OUT}x} = \text{GSEL}x \cdot V_{\text{IN}x}$, dove $V_{\text{IN}x}$ sono i corrispondenti segnali di ingresso analogico che fanno capo a ingressi ad alta impedenza, di tipo CMOS e con basse correnti di polarizzazione. Il pin di alimentazione V_{DD} ha bisogno di un condensatore di *by-pass* locale, tipicamente 0.1 μF . I pin dei guadagni ($\text{GSEL}x$) sono ingressi digitali a tre livelli (o stati). Livello logico basso ($G = 10$), livello logico alto ($G = 50$) e pin flottante ($G = 1$), così come è stato utilizzato a bordo della scheda PIGTAIL. Nella tabella che segue figura la descrizione dei pin appena presentata.

MCP6G04	Symbol	Description
1	V _{OUTA}	Analog Output A
2	GSEL _A	Gain Select Input (SGA A)
3	V _{INA}	Analog Input A
4	V _{DD}	Positive Power Supply
5	V _{INB}	Analog Input B
6	GSEL _B	Gain Select Input (SGA B)
7	V _{OUTB}	Analog Output B
8	V _{OUTC}	Analog Output C
9	GSEL _C	Gain Select Input (SGA C)
10	V _{INC}	Analog Input C
11	V _{SS}	Negative Power Supply
12	V _{IND}	Analog Input D
13	GSEL _D	Gain Select Input (SGA D)
14	V _{OUTD}	Analog Output D

Tabella 3.6.1. MCP6G04: descrizione dei pin.

Ulteriori informazioni possono essere trovate nel datasheet del dispositivo [MCP6G04, 100 μA Selectable Gain Amplifier (2006)].

La tabella che segue riassume la variazione della nomenclatura delle tensioni analogiche nel percorso sensore-condizionamento-interfacciamento al convertitore A/D.

Voltage signal names	Signal names after voltage divider	ADC input signal names
PT	PTD	PITCH
RLL	RLLD	ROLL
VM1	VMP1	VMON1
IM1	IMP1	IMON1
VM2	VMP2	VMON2
IM2	IMP2	IMON2
VEXT1	CH1	ADC1
VEXT2	CH2	ADC2

Tabella 3.6.2. Nomenclatura dei segnali analogici presenti sulla scheda PIGTAIL.

Tutti i segnali di tensione (prima colonna in Tabella 3.6.2), unipolari positivi, sono fatti transitare attraverso otto partitori di tensione di precisione (colonna centrale della Tabella 3.6.2) per adattarli alla dinamica di ingresso del convertitore A/D (da 0 V a +2.5 V). Prima di iniettarli nel convertitore, viene effettuato un adattamento di impedenza utilizzando due amplificatori integrati (IC3 e IC8, sulla scheda PIGTAIL) appena descritti. A questo punto, la nomenclatura dei segnali diventa quella riportata nell'ultima colonna in Tabella 3.6.2 e disponibile direttamente sui pin di ingresso dell'ADC.

3.7 Sensore di allagamento

Come già spiegato, una delle principali applicazioni del sistema di acquisizione dati multiparametrico qui descritto è quella di trovare largo uso in sistemi marini tipo OBS dove sono richiesti consumi energetici ridotti al minimo. Solitamente, il sistema di acquisizione e parte dei suoi sensori sono alloggiati in un contenitore a tenuta stagna capace di resistere a pressioni elevate dipendenti dalla profondità in acqua, sia esso costituito da sfere di vetro o da *vessel* in alluminio o titanio. Appare quindi evidente dotare il sistema di un sensore di allagamento (o di intrusione acqua) per salvaguardare tutta la strumentazione in caso di penetrazione di acqua nel contenitore. In tal caso, il sistema deve essere recuperato, cosa che viene normalmente fatta in maniera automatica con sistemi di sgancio acustico, o in maniera forzata via cavo elettromeccanico. L'allarme di intrusione acqua deve agire non appena sul fondo del contenitore dell'elettronica viene segnalata la presenza di un minimo di acqua marina.

Il sensore di intrusione acqua progettato per il sistema è costituito da un circuito formato da una coppia di conduttori terminati su una coppia di transistor a giunzione complementari, con a valle un comparatore di tensione con isteresi (Figura 3.7.1). Il circuito è alloggiato sulla scheda PIGTAIL.

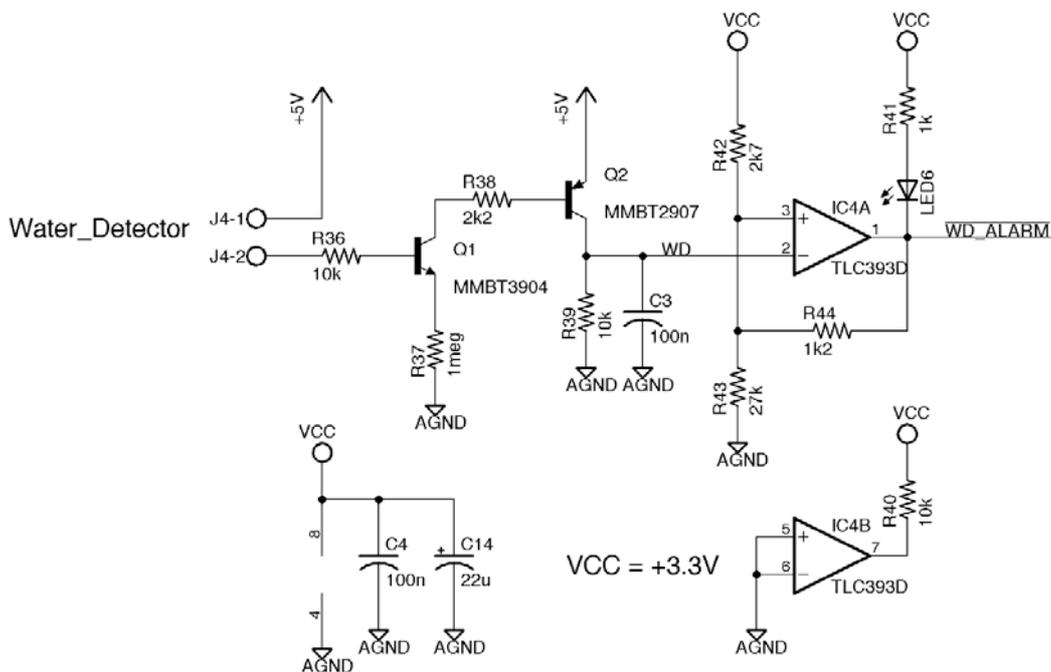


Figura 3.7.1. Circuito elettronico di allarme intrusione acqua.

Il dispositivo TLC393 consiste di una coppia indipendente di comparatori di tensione integrati a basso consumo, ad alimentazione singola, con transistor CMOS in uscita del tipo *open-drain*.

Il principio di funzionamento del circuito trova la sua descrizione più agevole partendo da destra verso sinistra della figura. Sull'ingresso non invertente (+) del comparatore IC4A è presente una tensione fissa, pari a $V_{CC}/2$ (+1.65 V), prelevata dal partitore di tensione formato dalla coppia di resistori R42 e R43 dello stesso valore ohmico. Il livello di tensione presente sull'ingresso invertente (-) del comparatore IC4A (linea WD, *Water Detector*) viene confrontato con quello fisso V_+ presente sull'ingresso non invertente. Quando WD è maggiore di V_+ , l'uscita (pin 1) di IC4A viene chiusa a massa dal MOS di uscita interno al comparatore. Quindi la linea \WD_ALARM, collegata allo *slot* J6 della scheda Fox Board G20 e da questa al microprocessore ARM (si veda in Appendice lo schema elettrico denominato CONNECTORS), diviene attiva ed il diodo led (LED6) si accende. Questa è la condizione di allarme che segnala al microprocessore la presenza di acqua nel contenitore dell'elettronica.

Il segnale WD proviene dalla coppia di transistori complementari (Q1 e Q2) che, con il connettore J4, costituiscono l'elemento sensibile di allerta acqua. Il transistor Q2, di tipo PNP, è montato nella configurazione ad emettitore comune. Uno dei due pin del connettore J4 è connesso direttamente alla tensione di alimentazione (+5 V), mentre l'altro pin polarizza la base di Q1 mediante il resistore R36.

Il connettore J4 viene montato sulla base del contenitore sottomarino dell'elettronica e poi, con una coppia di fili, è collegato al circuito in esame. Quando nel contenitore non vi è presenza di acqua, la resistenza tra i pin del connettore J4 è molto elevata, per cui nel ramo formato dalla coppia di conduttori e da R36 vi scorre una corrente dell'ordine di qualche μA che lascia il transistor Q1 interdetto, così come pure il transistor Q2; per cui il livello di tensione WD è inferiore alla tensione V_+ e l'uscita del comparatore è alta. Quando invece nel contenitore vi è presente acqua marina, allora la resistenza tra i pin del connettore J4 diviene bassa; il ramo con R36 conduce una corrente sufficiente a polarizzare la base del transistor Q1 che si porta in conduzione. La tensione WD sale, diventando maggiore di 1.65 V, attivando il comparatore e segnalando, così, la condizione di allarme.

Si noti che il ramo di reazione (positiva) formato dai resistori R43 e R44, introduce per il comparatore un isteresi per evitare che, nell'intorno di $V_{CC}/2$, siano presenti falsi commutazioni sull'uscita del comparatore. I livelli di tensione di isteresi $V_{TH+,-}$ sono dati da:

$$V_{TH+} = \frac{V_{CC}}{1 + \frac{R44}{R43}} = 3.16V$$

$$V_{TH-} = 0V$$

Il comparatore IC4B non viene utilizzato, pertanto esso è montato nella configurazione prevista in tale situazione dal datasheet [TLC3933, Dual Micropower LinCMOS Voltage Comparator (2003)].

3.8 Connettore di espansione

Sulla scheda PIGTAIL è alloggiato un connettore di espansione *dual in-line* a 16 vie (denominato J3), passo 2.54 mm, del tipo IDC *plug* maschio ad innesto con cavo *flat* (Figura 3.8.1), che dota il sistema di acquisizione della possibilità di sette linee digitali con funzione programmabile di ingresso o uscita, e di una linea (PC9) utilizzabile esclusivamente come ingresso (a 1.8 V). Delle linee di I/O, quattro sono con livelli logici a 3.3 V, mentre le restanti tre sono a 1.8 V. Le linee digitali consentono di accendere o spegnere dei carichi esterni mediante scheda di interfaccia optoisolata con comando di relè a stato solido o di MosFet di potenza, etc.

Sul connettore di espansione sono presenti due poli di massa (GND), utilizzabili come riferimento comune per i segnali logici, e le due linee di comunicazione seriale su *bus* I²C (dati e *clock*). Questo consente al sistema di poter gestire qualunque tipo di sensore/strumento digitale esterno futuro dotato di un tale tipo di interfaccia. La tabella 3.8.1 riassume quanto appena detto.

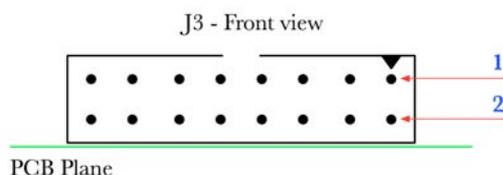


Figura 3.8.1. Connettore di espansione.

Pi n	μ P Name	Input/ Output	Logic Voltage	Led Names on	Led Color
1	GND	---	---	n/a	n/a
2	GND	---	---	n/a	n/a
3	VCC	Power	3.3 V	n/a	n/a
4	AD1	I ² C S	3.3 V	LED11	red
5	VCC	Power	3.3 V	n/a	n/a
6	AD0	I ² C S	3.3 V	LED10	red
7	PC6	---	1.8 V	n/a	n/a
8	PA11	I/O	3.3 V	LED9	red
9	PC8	---	1.8 V	LED7	n/a
10	PC9	I	1.8 V	LED3	gree
11	PC12	I/O	1.8 V	LED5	gree
12	PC13	I/O	1.8 V	LED2	gree
13	PC14	I/O	1.8 V	LED4	gree
14	PC15	I/O	1.8 V	LED1	gree
15	PB30	I/O	3.3 V	LED13	red
16	PA28	I/O	3.3 V	LED14	red

Tabella 3.8.1. Segnali digitali disponibili sul connettore di espansione.

Lo stato di tutte le linee logiche di ingresso/uscita disponibili sul connettore di espansione è monitorabile attraverso diodi led (Figura 3.8.2) di differente colore montati sulla scheda PIGTAIL. I led, montati con resistore di *pull-up* verso l'alimentazione, si accenderanno quando sulla corrispondente linea il livello logico è basso (0 V). I diodi led corrispondenti alle linee digitali a 1.8 V sono di colore verde, mentre quelli per le linee a 3.3 V sono di colore rosso. La figura mostra la disposizione dei diodi led sulla scheda PIGTAIL con il nome della corrispondente linea digitale.

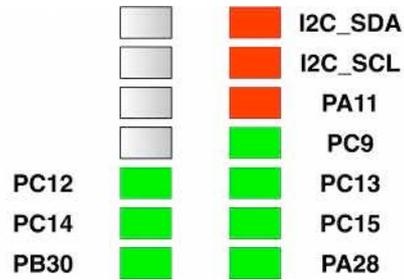


Figura 3.8.2. Disposizione dei diodi led di interfaccia sulla scheda PIGTAIL.

3.9 Consumi

Per le misure relative ai consumi elettrici del sistema di acquisizione si è fatto uso di un alimentatore professionale da laboratorio, monitorando sia le tensioni continue di alimentazione sia gli assorbimenti di corrente. Con l'ausilio di un multimetro digitale da banco si è poi provveduto a misurare le tensioni di alimentazione in uscita dalla scheda POWER.

Le misure sono state eseguite in varie fasi tenendo conto delle varie schede costituenti il sistema. Dapprima si è presa in considerazione la sola scheda Fox Board G20; prima misurandone i consumi senza la connessione alla rete Ethernet (con picco massimo di corrente di 110 mA@ 5 V) e senza alcuna periferica USB montata, e poi la stessa misura è stata eseguita con la connessione attiva (con picco massimo di corrente di 180 mA@ 5 V). Successivamente la scheda elettronica SERIALS è stata innestata sulla scheda Fox Board G20, con la rete attiva, e ne è stato rilevato il consumo (con picco massimo di corrente pressoché inalterato) - senza la presenza di alcune sensore esterno. Poi è stata impilata la scheda PIGTAIL su tutto ed anche qui è stato monitorato il consumo (con picco massimo di corrente non mutato).

Poi si è passato ad analizzare la scheda di alimentazione POWER (opzionale). Dapprima si è fatta la misura, in termini di energia persa (*drop-out*) per l'inserimento della scheda di alimentazione POWER alimentata alla tensione continua di 48V, con picco massimo di corrente di 42 mA. La tabella che segue riassume le misure effettuate.

Scheda in esame	Tensione di alimentazione (V)	Corrente assorbita (mA)	Potenza dissipata (mW)
Fox Board G20	5	50	250
Fox Board G20 (con Ethernet)	5	160	800
SERIALS	5	5	25
PIGTAIL	5	10	50
Totali		175	875

Tabella 3.9.1. Segnali digitali disponibili sul connettore di espansione.

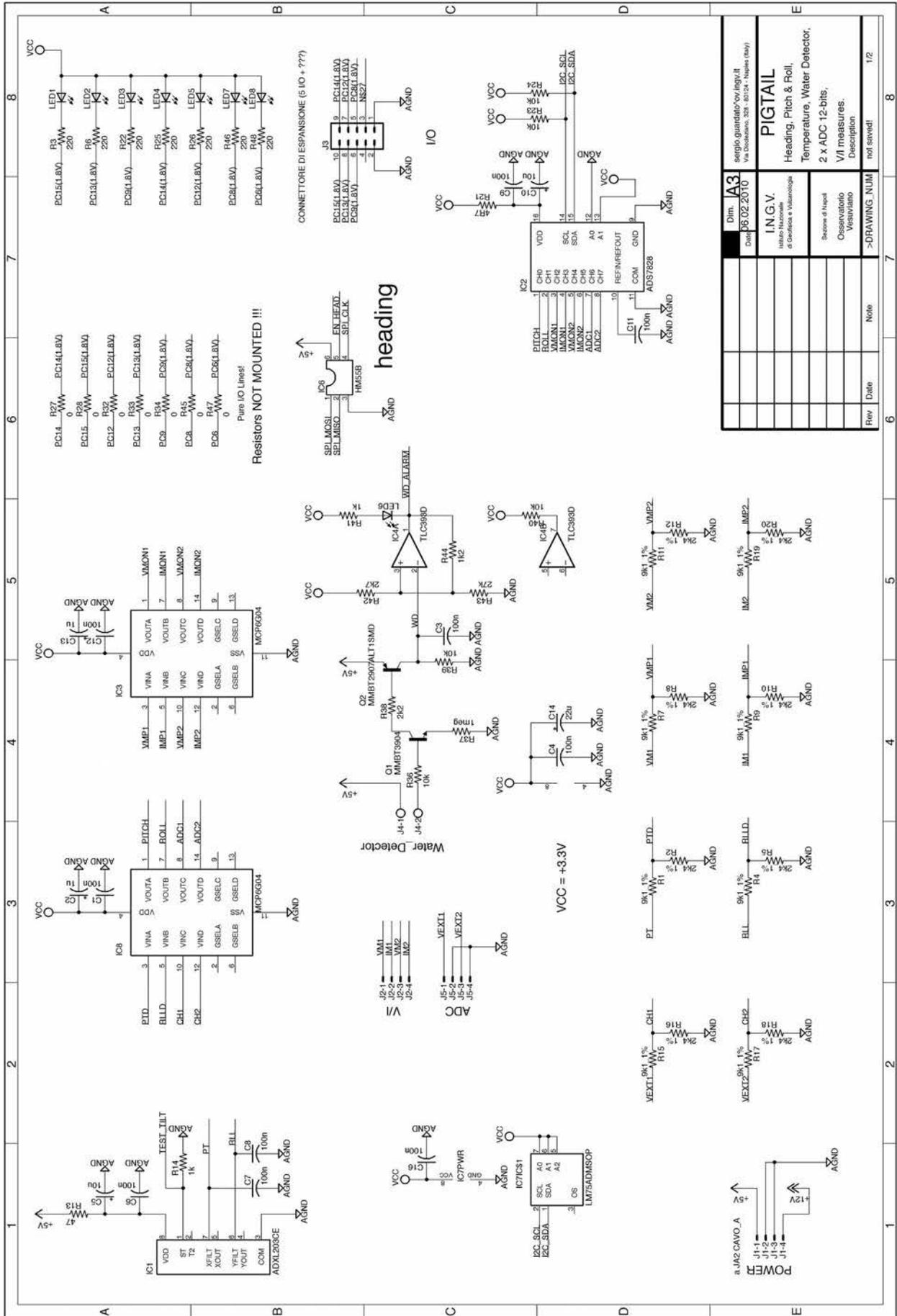
Riassumendo, quindi, il consumo del sistema totale si assesta intorno ai 180 mA@ 5 V, corrispondenti a meno di un Watt. Attualmente la soluzione proposta rappresenta uno dei sistemi di acquisizione (per sensori multiparametrici e per il controllo ed il monitoraggio di strumentazione, di interesse geofisico e non), con *rate* di acquisizione medio-basso, caratterizzato da consumi energetici e costi molto bassi, che ben si presta per applicazioni da fondale marino.

Bibliografia

- Iannaccone, G., Guardato, S., Vassallo, M., Elia, L., and Beranzoli L. (2009). A new multidisciplinary Marine Monitoring system for the surveillance of Volcanic and Seismic areas. *Seismological Research Letters*, Vol. 80, N. 2, pp. 203-213.
- TEL 15 Series, 15 Watt, DC/DC Converters (2007). Traco Power, Rev. 04.
- MEV3 Series, 3kVDC Isolated 3W Single Output DC/DC Converters (2007). muRata, KDC_MEV3C.A01.
- AT91SAM9G20, AT91 ARM Thumb Microcontroller (2009). ATMEL.
- MAX3233E, 1.6 μ A, RS-485/RS-422, Half-Duplex, Differential Transceiver for Battery-Powered Systems (1998). Maxim Integrated Products, Rev. 0.
- Guardato, S., and Iannaccone, G. (2009). RS-485 interface for the GPS of the Kinometrics dataloggers, in "Conception, verification and application of innovative techniques to study active volcanoes". ISBN978-88-89972-09-0.
- MAX3471, \pm 15kV ESD-Protected, 1 μ A, 250kbps, 3.3V/5V, Dual RS-232 Transceivers with Internal Capacitors (2004). Maxim Integrated Products, Rev. 2.
- STTS75, Digital temperature sensor and thermal watchdog (2007). ST Microelectronics, Rev. 7.
- HM55B, Compass Module (2005). Parallax, Hitachi.
- ADS7828, 12-Bit, 8-Channel Sampling Analog-to-Digital Converter with I2C Interface (2005). Burr-Brown from Texas Instruments, SBAS181C.
- Measuring Tilt with Low-g Accelerometers (2005). Freescale Semiconductor, AN3107.
- Tilt Sensing Using Linear Accelerometers (2007). Freescale Semiconductor, AN3461.
- ADXL203, Precision \pm 1.7g Dual-Axis MEMS Accelerometer, Rev. A. Analog Devices.
- MCP6G04, 100 μ A Selectable Gain Amplifier (2006). Microchip Technology.
- TLC393, Dual Micropower LinCMOS Voltage Comparator (2003). Texas Instruments, SLCS115E.
- INA193-8, Current Shunt Monitor (2006). Burr-Brown from Texas Instruments, SBOS307E.

appendice

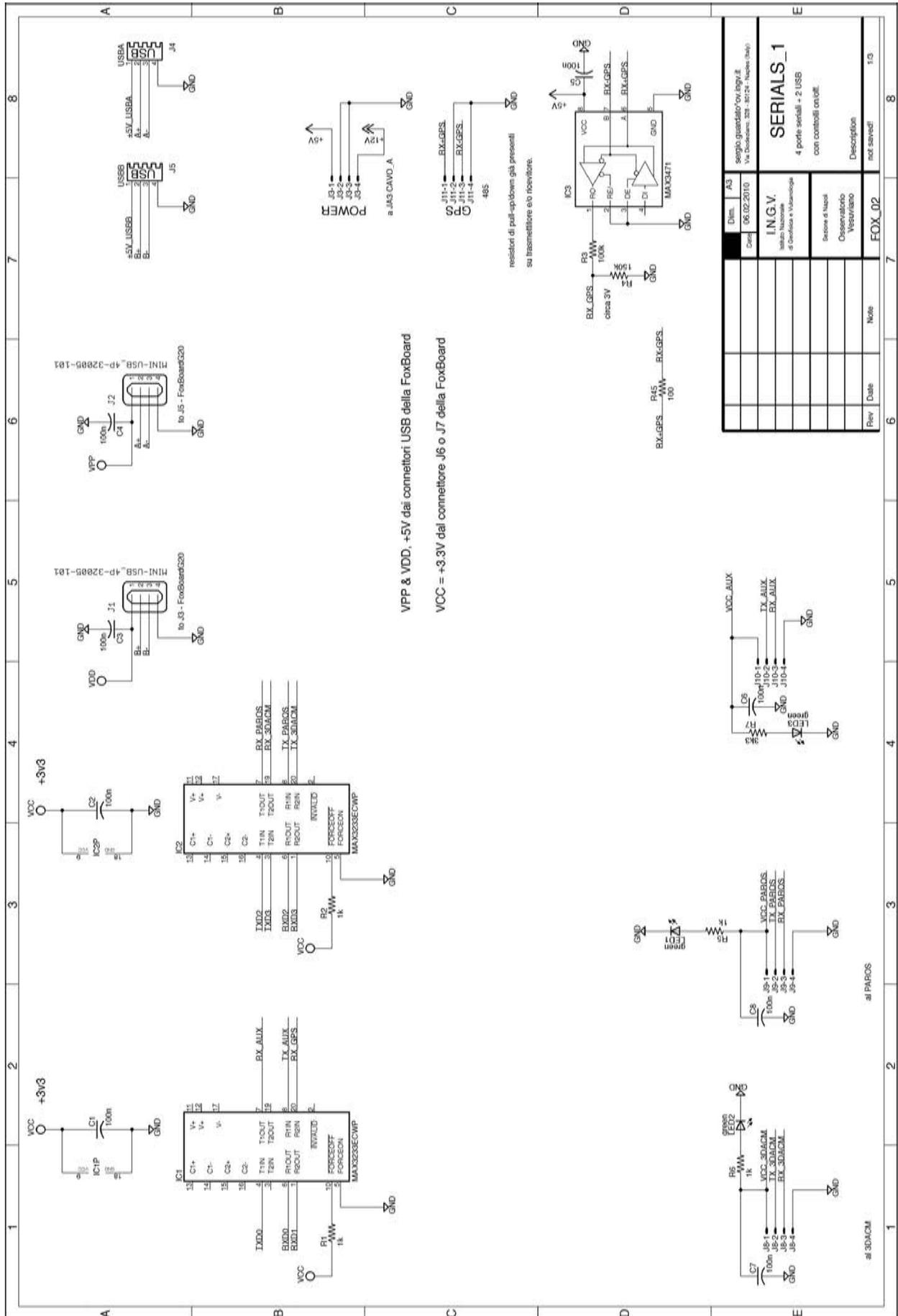
schemi elettrici



Scheda PIGTAIL

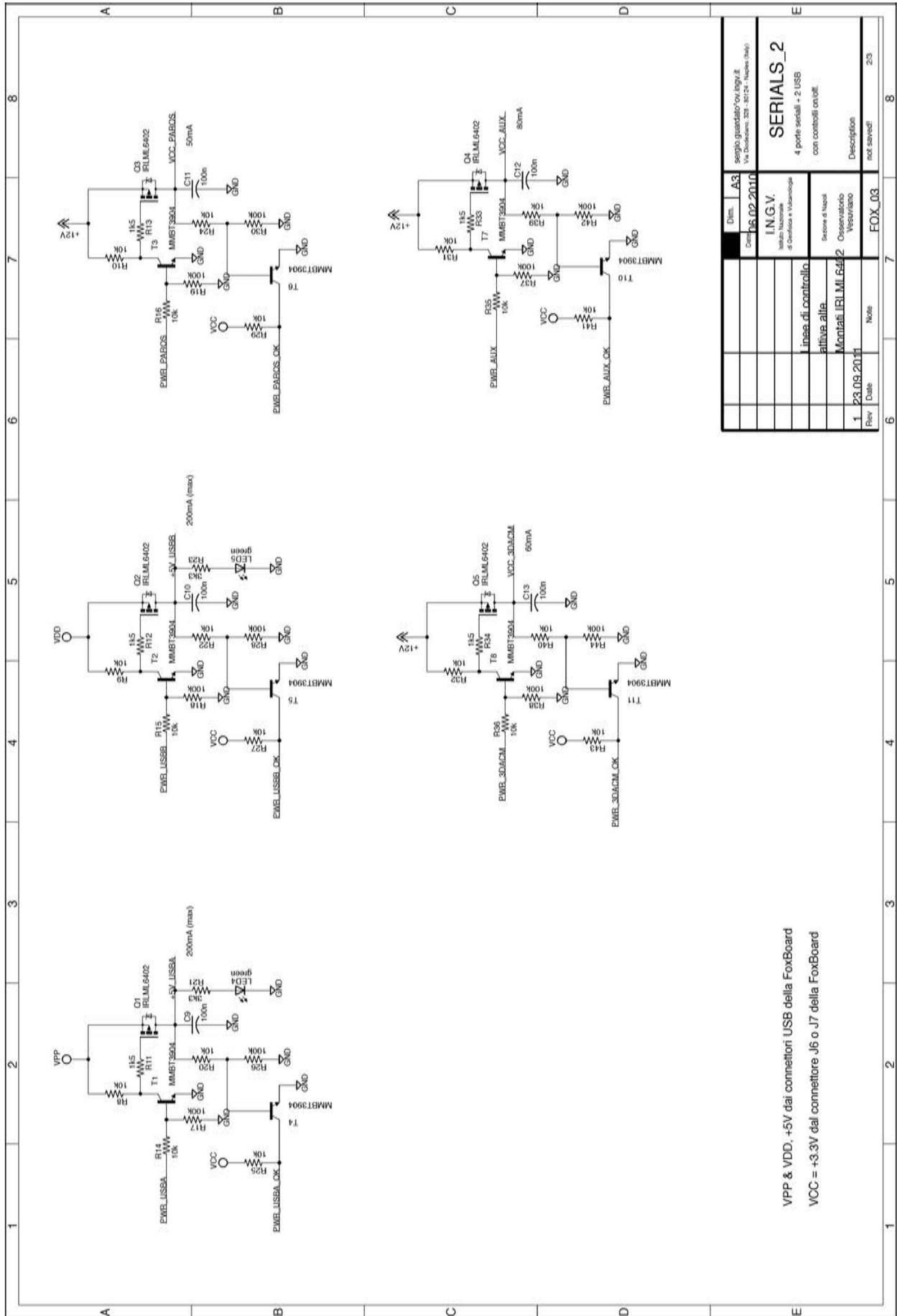
Dim. JA3	sempio guardato/conting.it	8
Data: 06.02.2010	Via Docubano, 328 - 60124 - Nervesa (An)	7
ING.V. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia		6
Progetto di Ingegneria		5
Osservatorio Vesuviano		4
2 x ADC 12-bit, V/I measures.		3
Description		2
not saved!		1

Rev	Date	Note
>	>	>DRAWING_NUM



Dim.	J3	segno guardato? on Ingeg. E
Rev	06.02.2010	Via Donatone, 333 - 80124 - Naples (Italy)
SERIALS_1		
4 porte seriali - 2 USB con controlli on/off.		
Description not saved!		
Rev	Date	Note
FOX_02		

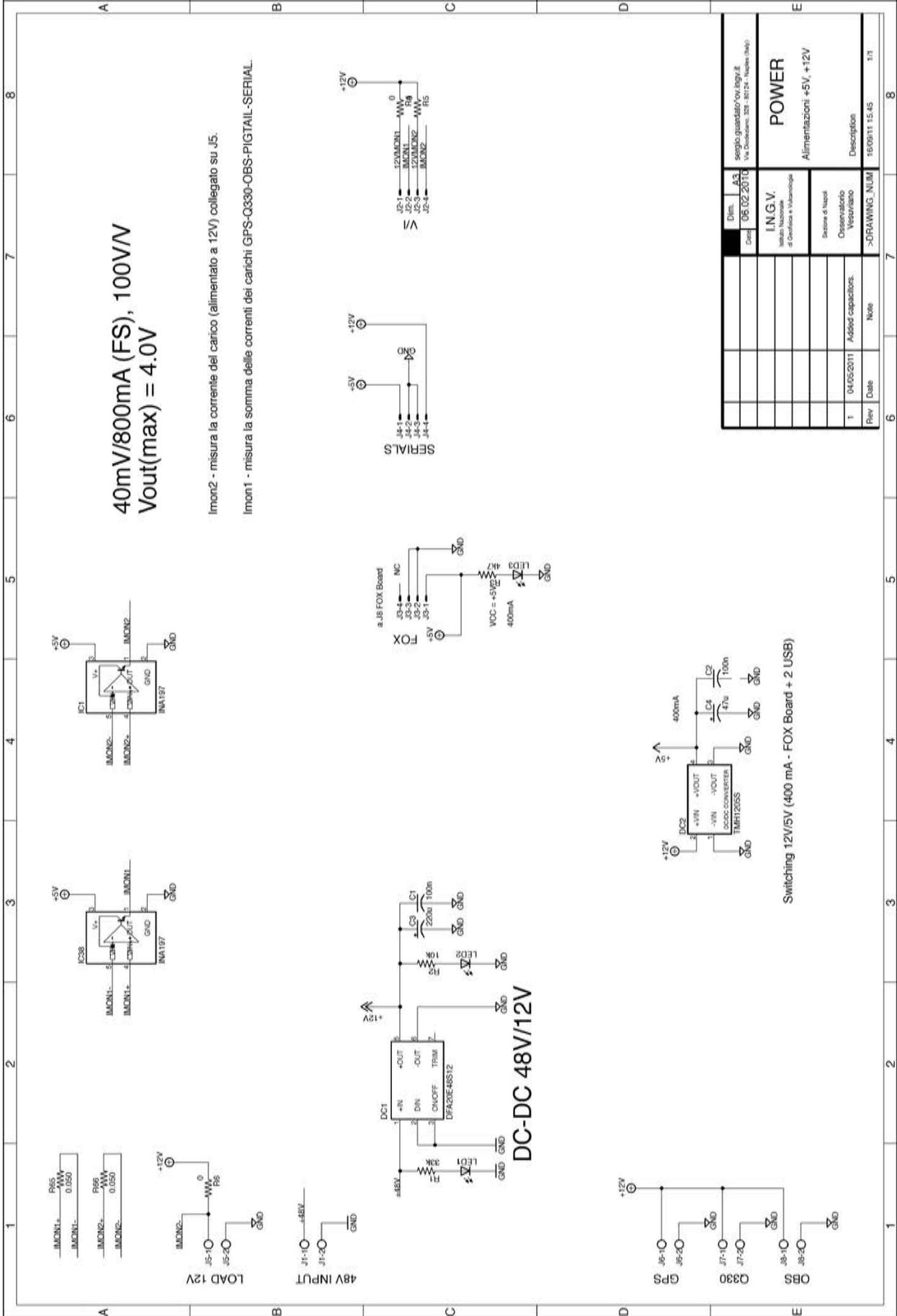
Scheda SERIALS: schema 1



VPP & VDD, +5V dai connettori USB della FoxBoard
VCC = +3.3V dal connettore J6 o J7 della FoxBoard

Dim.	A3	segno guardato? con ingv.it Via Donatone: 333 - 80124 - Napoli (Italy)
Rev	15.02.2010	
SERIALS_2		
4 porte seriali - 2 USB con controlli conVcc.		
Linea di controllo attiva, alle		INGV. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Montati IRLML6402		Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano
1	23.09.2011	Description not saved!
Rev	Date	Note
		FOX_03

Scheda SERIALS: schema 2



40mV/800mA (FS), 100V/V
 Vout(max) = 4.0V

Imon2 - misura la corrente del carico (alimentato a 12V) collegato su J5.

Imon1 - misura la somma delle correnti dei carichi GPS-Q330-OBS-PIGTAIL-SERIAL...

DC-DC 48V/12V

Switching 12V/5V (400 mA - FOX Board + 2 USB)

Dim.	A3	segno guardato? owl.ingv.it
Rev.	06.02.2010	Via Ducaletto, 333 - 80124 - Napoli (Italy)
POWER		
Alimentazioni +5V, +12V		
INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia		
Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano		
Rev	1	04/05/2011
Date		Added capacitors.
Note		
Description		
15/09/11 15:45		

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia