

# Rapporti tecnici

## INGV

**Il sistema elettronico per  
l'alimentazione, il controllo e  
l'acquisizione dati del nuovo  
Osservatorio multidisciplinare di  
Portopalo di Capo Passero**

# 373



## **Direttore Responsabile**

Silvia MATTONI

## **Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



# Rapporti tecnici INGV

## IL SISTEMA ELETTRONICO PER L'ALIMENTAZIONE, IL CONTROLLO E L'ACQUISIZIONE DATI DEL NUOVO OSSERVATORIO MULTIDISCIPLINARE DI PORTOPALO DI CAPO PASSERO

Gabriele Giovanetti<sup>1</sup>, Umberto Apponi<sup>2</sup>, Nicola Mario Marcucci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale)

<sup>2</sup>SpacEarth Technology S.r.l. - INGV spin-off

# 373

**Come citare:** Giovanetti G., Apponi U., Marcucci N.M., (2017). Il sistema elettronico per l'alimentazione, il controllo e l'acquisizione dati del nuovo Osservatorio multidisciplinare di Portopalo di Capo Passero. Rapp. Tec. INGV, 373: 1-20.



## Indice

Introduzione .....	7
1. Il Progetto EMSO-MedIT .....	7
2. Gli Osservatori multidisciplinari di fondo Mare.....	7
3. Strumentazione .....	8
4. Architettura del sistema di acquisizione, controllo e alimentazione dell'osservatorio.....	9
5. DC-DC Module.....	10
6. Power Management Module .....	11
7. CPU Module .....	12
8. Conclusioni e sviluppi futuri.....	15
Bibliografia .....	16



## Introduzione

Questo articolo descrive il contributo dato alla realizzazione del nuovo osservatorio scientifico multidisciplinare di fondo mare, realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nell'ambito del progetto EMSO-MedIT, e destinato ad essere deposto a 100 km di profondità al largo di Portopalo di Capo Passero (Sicilia). Questo osservatorio costituisce un potenziamento dell'attività di monitoraggio in uno dei nodi dell'infrastruttura EMSO, chiamato Western Ionian Sea, particolarmente interessante per via dell'attività vulcanica e sismologica nell'area.

Partendo dall'illustrazione delle caratteristiche generali di un osservatorio di fondo mare e dei sensori in esso presenti, passeremo a presentare i requisiti e l'architettura del nuovo osservatorio di Portopalo di Capo Passero focalizzandoci sul presentare come è stato progettato e implementato il sistema elettronico per l'alimentazione e il controllo.

## 1. Il Progetto EMSO-MedIT

EMSO-MedIT [EMSO-MedIT, 2016] è un progetto, conclusosi nel marzo 2016, per il potenziamento delle infrastrutture di ricerca marina in Sicilia, Campania e Puglia nell'ambito dell'infrastruttura di ricerca europea EMSO [EMSO, 2015].

Le azioni previste dal Progetto EMSO-MedIT mirano a:

- potenziare le infrastrutture marine e le dotazioni scientifiche e tecnologiche al fine di consolidare ed espandere la rete per il monitoraggio multidisciplinare dell'ambiente marino costiero e profondo, e della colonna d'acqua;
- mettere in rete tutte le infrastrutture esistenti e potenziare la trasmissione dei dati in real-time, integrando le misure di sistemi osservativi fissi e ricollocabili;
- costituire un sistema mobile di intervento da utilizzare per campagne di monitoraggio in siti di interesse strategico o in caso di emergenze ambientali.

Tra le infrastrutture sviluppate nell'ambito del progetto si colloca l'osservatorio multidisciplinare cablato di fondo mare di Capo Passero, oggetto del presente articolo.

## 2. Gli Osservatori multidisciplinari di fondo Mare

Un osservatorio di fondo mare è costituito da una struttura meccanica dove sono alloggiati una serie di sensori (di conducibilità elettrica, di temperatura e di profondità, di corrente marina, di acustica, ecc.) atti a misurare i parametri fisici di interesse scientifico, unitamente ad un sistema hardware/software per il controllo dell'osservatorio e per l'acquisizione dei dati. I dati misurati possono essere raggruppati in tre tipologie così definite: dati geofisici, dati oceanografici, dati geochimici.

Alcuni osservatori sono collegati a terra mediante un cavo sottomarino (cablati) mentre altri sono autonomi (stand-alone).

Gli osservatori stand-alone sono alimentati a batteria. A volte è presente un collegamento con un'imbarcazione o una boa in superficie mediante un modem acustico, utile a trasferire parametri di stato e una quantità limitata di dati. A causa della limitata capacità di comunicazione, i dati sono salvati localmente, ed analizzati al termine della missione.

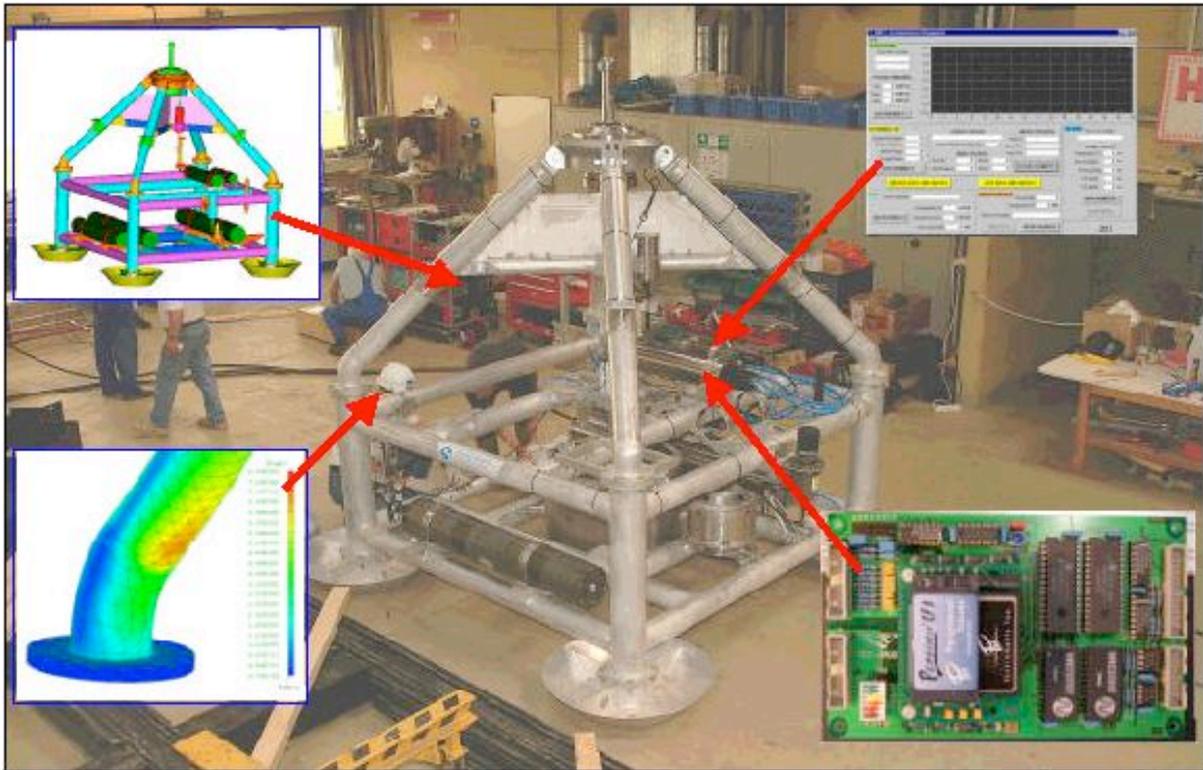
Gli osservatori cablati sono collegati a terra tramite un cavo sottomarino che fornisce l'alimentazione agli osservatori e permette la trasmissione in real-time dei dati.

L'osservatorio di Capo Passero, oggetto di questo articolo, rientra in quest'ultima categoria.

In fig. 1 è presentata una foto<sup>1</sup> dell'osservatorio Geostar [Beranzoli et al., 1998], costituito da un frame metallico dove sono alloggiati i sensori, l'elettronica di acquisizione e controllo e il sistema di storage.

---

<sup>1</sup> Gentile concessione di Tecnomare Spa.



**Figura 1.** L'Osservatorio GEOSTAR. Viene evidenziata la posizione dei principali componenti.

### 3. Strumentazione

Di seguito vengono elencati i sensori utilizzati nell'Osservatorio di Portopalo di Capo Passero, viene fornita per ciascuno anche una breve descrizione:

**Sismometro:** è uno strumento a 3 componenti in grado di misurare segnali sismici, generati da sorgenti di origine naturale o antropica; quello utilizzato è del tipo a larga banda e consente misure in tutti gli intervalli di frequenza (dal tremore vulcanico agli eventi vulcanici, a quelli tettonici).

**Idrofono:** rileva segnali acustici in un liquido ma si rivela un utile strumento anche nella registrazione degli eventi sismici.

**Gravimetro:** misura le variazioni dell'accelerazione di gravità.

**Magnetometro:** (Scalare e Vettoriale): misura l'intensità (magnetometro scalare) del campo magnetico terrestre e la sua direzione (magnetometro vettoriale).

**Sensore di pressione** (assoluta): misura la pressione dell'acqua mediante un oscillatore piezoelettrico.

**ADCP** (Acoustic Doppler Current Profiler): fornisce profili delle correnti marine a varie distanze dal sensore, utilizzando la riflessione di segnali acustici e l'effetto doppler.

**Correntometro:** misura la velocità e la direzione di correnti marine.

**CTD:** dispositivo che contiene la strumentazione necessaria per la misura della Conduttività elettrica (C), della Temperatura (T) e della Profondità (D) dell'acqua.

Nella tab. 1 sono elencati in particolare i modelli dei sensori utilizzati nell'Osservatorio di Portopalo.

Strumento	Modello
Sismometro	Guralp 3T + 5TC
Idrofono HF (x4)	Oceansonics iClisten HF
Idrofono LF	Oceansonics iClisten LF
ADCP	Teledyne Workhorse Long Ranger
CTD+ O2	SBE 16 plus V2, SBE 63, SBE 5T
Gravimetro	AGI
Correntometro	Aanderaa DCS 4520
Magnetometro vettoriale	LEMI 039
Magnetometro overhauser	Quantum POS-1
Sensore di pressione	Paroscientific 410K-101

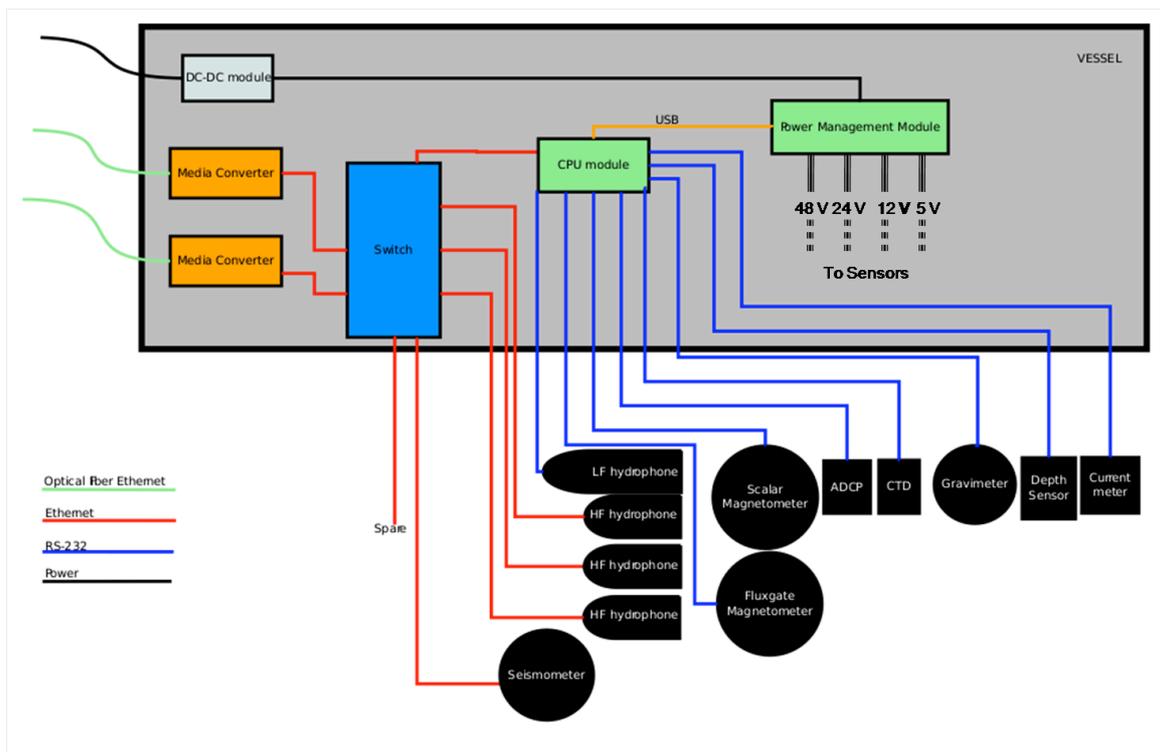
**Tabella 1.** Lista dei sensori impiegati nell'Osservatorio di Portopalo.

#### 4. Architettura del sistema di acquisizione, controllo e alimentazione dell'osservatorio

Il sistema di acquisizione, controllo e alimentazione dell'osservatorio di fondo mare di Capo Passero è formato dalle seguenti macro-componenti: DC-DC Module, CPU Module, Power Management Module (PMM), uno switch Ethernet, due media converter da Ethernet a fibra ottica. Il CPU Module invia comandi e riceve dati dai sensori e garantisce il trasferimento dei dati a terra attraverso i media converter. Il Power Management Module controlla e gestisce le linee di alimentazione per i sensori, fornite dal DC-DC Module, e invia informazioni di stato al CPU Module, ricevendo da quest'ultimo comandi (per esempio accensione o spegnimento di un sensore). I dati dei sensori dotati di interfaccia Ethernet non passano per il CPU Module ma giungono direttamente ai media converter (attraverso lo switch).

Lo schema a blocchi dell'intero sistema è mostrato nella fig. 2.

I dettagli del funzionamento dei singoli moduli vengono approfonditi nei capitoli che seguono.



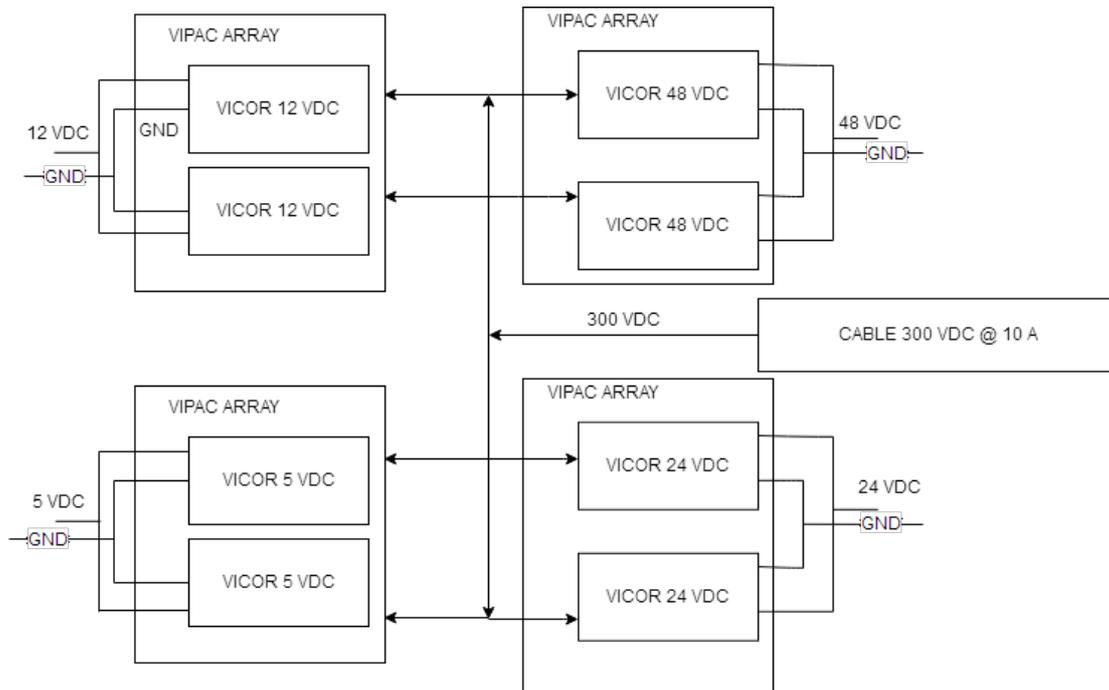
**Figura 2.** Schema a blocchi del sistema.

## 5. DC-DC Module

L'intero sistema è alimentato da una sorgente di tensione continua di 300 V, capace di erogare correnti fino a 10 A. Attraverso l'impiego di dispositivi convertitori DC-DC ad alto rendimento, si riescono ad ottenere appropriati livelli di tensione. Gli strumenti necessitano infatti di diversi livelli di tensione continua per funzionare correttamente, che sono compresi tra 5 V e 48 V.

I dispositivi scelti sono stati dei Vipac Array, ognuno composto da due DC-DC converter per rendere ridondante il sistema e quindi aumentarne l'affidabilità.

In fig. 3 è mostrato lo schema a blocchi del DC-DC Module.



**Figura 3.** Schema a blocchi dei Vipac Array.

Come detto, ogni Array consente di ottenere, a partire da una tensione di ingresso, una ben definita tensione di uscita con un rendimento vicino al 96 %. I livelli di tensione che sono necessari agli strumenti sono i seguenti: 48V, 24V, 12V e 5V.

Nella fig. 4 è mostrato il Vipac Array a 48V.

Le tensioni generate dal DC-DC Module sono gestite dal Power Management Module.

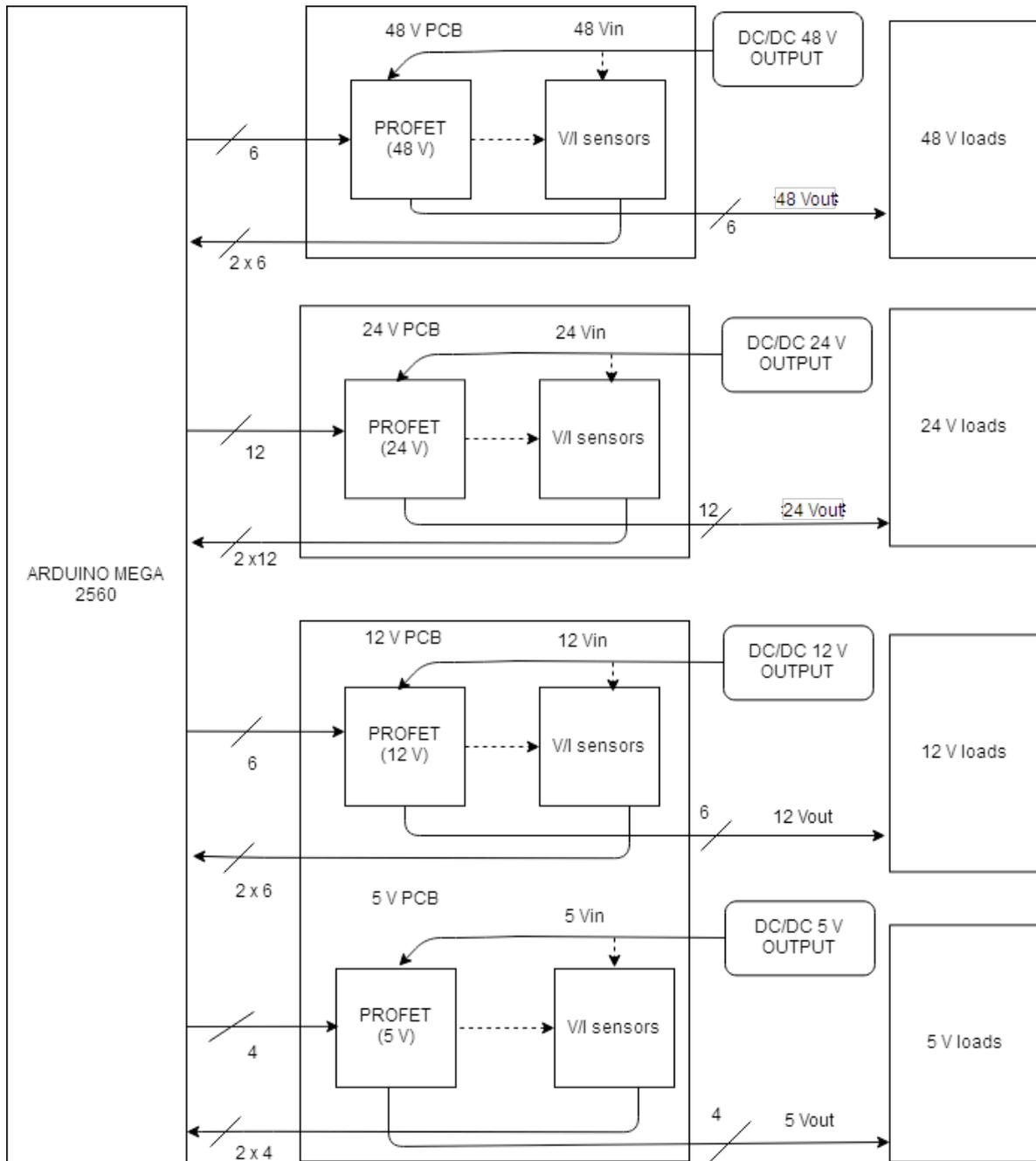


**Figura 4.** Vipac Array con uscita a 48 V.

## 6. Power Management Module

Per realizzare il **Power Management Module** sono state prodotte tre schede di alimentazione modulari e impilabili. Questa scelta permette un'agevole manutenibilità del sistema, potendo intervenire su una sola delle sue parti in caso di guasto. In questo modo è sufficiente sostituire e impilare la nuova scheda al posto di quella guasta, ottenendo così un sistema di gestione delle linee di alimentazione immediatamente funzionante. Le schede realizzate permettono di alimentare: 6 linee a 48V, 12 linee a 24V, 6 linee a 12V e 4 linee a 5V.

Di seguito è riportato un diagramma a blocchi semplificato (fig. 5) delle schede di alimentazione, comprensivo dell'Arduino Mega, che tra breve verrà introdotto.

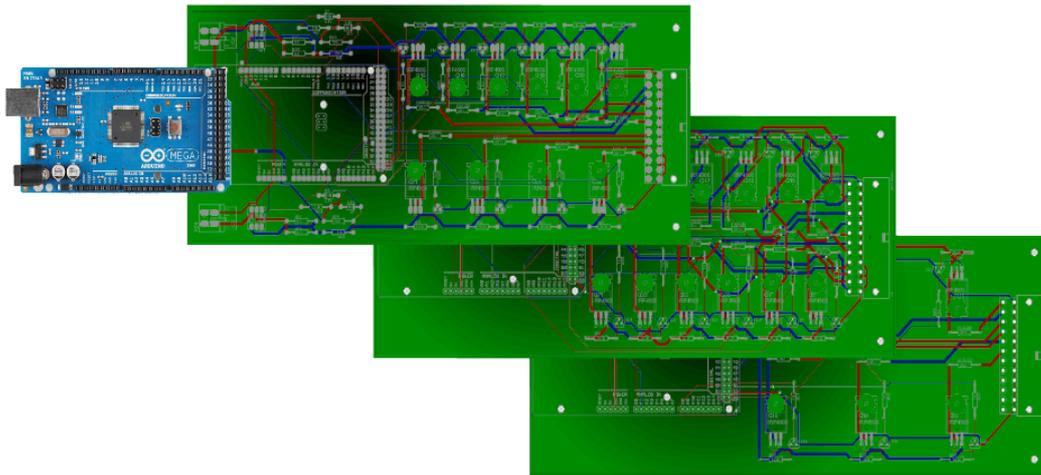


**Figura 5.** Schema a blocchi relativo alle schede di alimentazione per gli strumenti.

Per ogni linea di alimentazione si è utilizzato un interruttore MOSFET di potenza con una bassa resistenza tra drain e source ( $<0.2$  Ohm), allo scopo di contenere la caduta di tensione sul dispositivo. I MOSFET scelti (Infineon BTS410 e BTS452) sono anche chiamati PROFET (PROTECTED FET) o *smart-switch*, poiché posseggono l'elettronica di controllo che consente di proteggere la linea in cui sono inseriti e, di conseguenza lo strumento in caso di tensioni anomale o cortocircuiti. Queste componenti presentano tempi di reazione a situazione elettriche anomale più brevi (nell'ordine dei microsecondi) rispetto ai classici fusibili auto-ripristinabili (nell'ordine dei secondi).

Questa scelta ha portato a una maggiore complessità nella struttura del circuito elettronico realizzato, ma ha permesso una maggiore affidabilità in caso di situazioni critiche. C'è da sottolineare che ogni PROFET necessita di un transistor pilota (driver) per essere correttamente comandato da basse correnti, come quelle fornite da un microcontrollore. Nella fig. 5 si sono genericamente indicati i segnali di pilotaggio dei singoli PROFET, preferendo non appesantire la figura con la rappresentazione del driver. È da sottolineare che sono presenti, su ogni linea di alimentazione, sensori di tensione e corrente (shunt), i cui valori misurati sono acquisiti dal convertitore A/D del microcontrollore. Quest'ultimo è un ATmega 2560 e fa parte della scheda Arduino Mega, che è adatta a realizzare, in maniera relativamente rapida e semplice, piccoli sistemi per il controllo di sensori.

Nella fig. 6 sono mostrati i PCB delle tre schede di alimentazione realizzate e la scheda Arduino Mega.



**Figura 6.** Le schede di alimentazione degli strumenti e l'Arduino Mega.

Sulla scheda Arduino Mega è stato implementato un firmware per il controllo degli interruttori e per il monitoraggio di tensione e corrente di linea. L'apertura degli interruttori è prevista in caso di malfunzionamenti o per scelta dell'utente. Il software nell'ATmega è in grado di ricevere comandi da una scheda di controllo, nel nostro caso il CPU Module, connessa con quest'ultimo tramite USB, al fine di operare secondo i desiderata dell'utente sulle linee di alimentazione degli strumenti.

A seguito delle azioni di monitoraggio di tensione e corrente, il microcontrollore trasferisce al CPU Module, con frequenza 1 Hz, una stringa con lo stato dell'alimentazione dei sensori.

In quest'ultima è presente per ogni linea, lo stato del transistor (accesso/spento) e l'indicazione necessaria a comprendere se lo spegnimento è stato causato da malfunzionamenti o per scelta dell'utente.

## 7. CPU Module

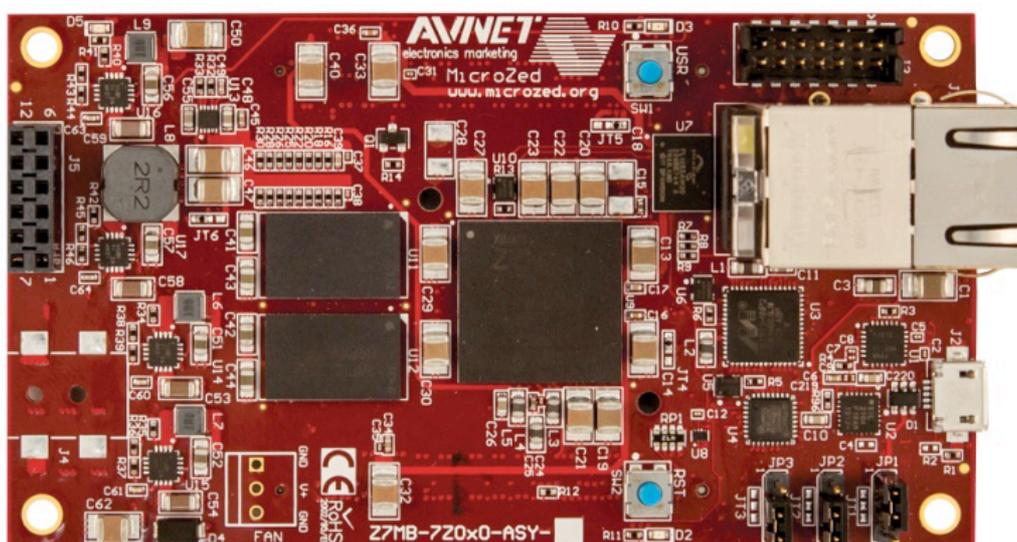
Il CPU Module costituisce il cuore dell'architettura: funge da collettore per i dati provenienti dalle altre componenti e garantisce la comunicazione con la stazione di terra.

Esso presenta le seguenti caratteristiche:

- è connesso tramite USB all'Arduino Mega del Power Management Module, da cui riceve le informazioni di stato dell'alimentazione delle schede e dei singoli sensori. Può inviargli comandi per fornire o rimuovere l'alimentazione di ciascun sensore;
- tramite collegamenti seriali RS232, riceve i dati dai sensori, quindi li marca temporalmente, e li trasferisce a terra tramite due media converter (da Ethernet a fibra ottica). Attraverso il medesimo canale seriale invia comandi ai sensori;
- mantiene la sincronizzazione temporale.

L'hardware si basa su una scheda Microzed che ospita un chip Xilinx Zynq 7010 (fig. 7), un system on module che permette di integrare la programmabilità software di un ARM9 con la programmabilità hardware di un dispositivo Field Programmable Gate Array (FPGA)<sup>2</sup>.

La parte software si baserà su Linux Embedded, compilato e configurato tramite il toolchain Petalinux della Xilinx.



**Figura 7.** La scheda Xilinx Microzed.

La scelta di una FPGA si è resa necessaria perché con un circuito riconfigurabile, a patto di avere sufficienti uscite, si possono gestire in modo parallelo 10 seriali UART 16550, necessarie per inviare/ricevere segnali e comandi ai/dai singoli strumenti. Inoltre, nel caso di future esigenze, il numero delle seriali si potrebbe facilmente espandere. Tale necessità non è infatti immediatamente gestibile tramite sistemi “multiplexati” o basati su microcontrollori multipli, poiché questi implicano una riprogettazione hardware totale della scheda elettronica deputata allo svolgimento di questo compito.

L’FPGA comunica con gli strumenti e con il microcontrollore dell’Arduino Mega. I livelli di tensione RS232 (+/-12V) della strumentazione sono opportunamente adattati a 0V-3.3V (attraverso convertitori MORNSUN TD301D232H, che garantiscono anche isolamento), per poterli mandare in ingresso all’FPGA.

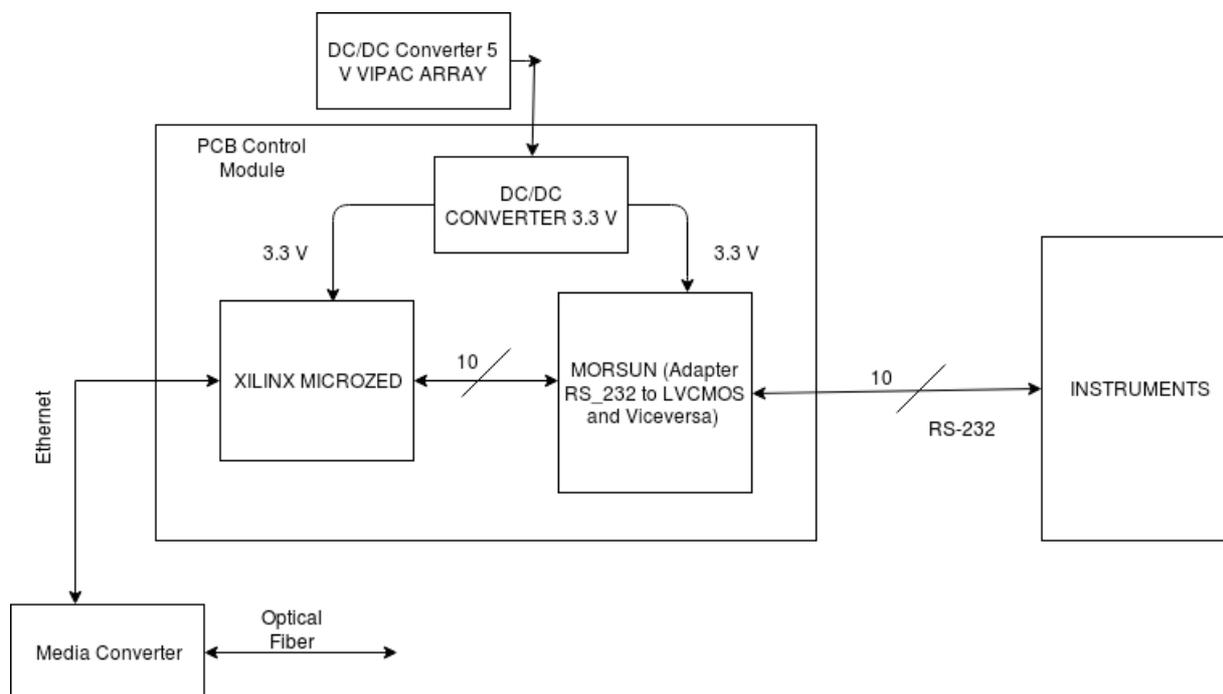
All’uopo di facilitare l’operazione di gestione delle linee RS-232, si è realizzata una scheda elettronica su cui l’FPGA può essere facilmente inserita (fig. 8). Lo schema a blocchi è mostrato in fig. 9.

<sup>2</sup> Un FPGA è un circuito integrato le cui funzionalità sono programmabili via software.



**Figura 8.** Scheda per la gestione dell’FPGA e delle linee RS-232 degli strumenti.

Oltre ad ospitare l’FPGA, sulla scheda sono presenti due opto isolatori (Vishay 4N35) per consentire il passaggio dei segnali Pulse per Second (PPS)<sup>3</sup> con frequenza 1 Hz, dall’FPGA agli strumenti e viceversa. Tale scelta è stata necessaria per isolare completamente il circuito elettronico da quello di alimentazione della strumentazione.



**Figura 9.** Schema a blocchi della scheda per le seriali e per la gestione dei dati degli strumenti.

<sup>3</sup> Un PPS è un segnale elettrico che indica molto precisamente l’inizio di un secondo.

I sensori collegati hanno una gestione della sincronizzazione temporale eterogenea.

In particolare gli idrofoni ad alta frequenza devono ricevere un segnale di sincronizzazione temporale costituito da un segnale PPS e da un PPS modulato che codifica la data e l'ora. Nella progettazione dell'hardware è stato quindi previsto un timer hardware custom per la sincronizzazione temporale degli idrofoni.

I segnali PPS necessari per la sincronizzazione degli idrofoni HF e LF sono stati generati:

- impostando il clock dell'FPGA a 100 MHz, utilizzando un Phase-Locked Loop (PLL) e configurando dei divisori di frequenza;
- realizzando un blocco custom VHDL (modulo PPS), che è in grado di generare il segnale con un duty cycle variabile e impostabile dall'utente.

Un Axi Timer [Xilinx AXI Timer, 2016], che è un modulo hardware fornito dalla Xilinx, "alimentato" dal clock del sistema a 100 MHz, conta i cicli dello stesso e genera in uscita un segnale che va in ingresso al blocco modulo PPS. Quest'ultimo genera due segnali PPS: uno con duty cycle impostabile dall'utente e un altro a duty cycle costante. Nel proseguo questa coppia di blocchi Axi Timer e modulo PPS sarà definita come Timer PPS.

In fase di progettazione della parte software del CPU Module, si è deciso di sviluppare un sistema operativo embedded modellato sull'hardware descritto in precedenza. Il sistema embedded dovrà eseguire il software di acquisizione, che riceverà i dati dai sensori collegati su porta seriale, li marcherà temporalmente e li invierà a terra tramite TCP/IP.

Perché la marcatura temporale dei dati sia affidabile, sarà necessario un sistema di sincronizzazione della data di sistema. Il software di acquisizione non gestirà i dati di tutti i sensori. Il sismometro e gli idrofoni ad alta frequenza trasmettono direttamente i dati a terra attraverso Ethernet e quindi attraverso i media converter.

Il sismometro ha un proprio client NTP<sup>4</sup> per la sincronizzazione temporale, mentre gli idrofoni vengono sincronizzati come esposto in precedenza. Sarà pertanto necessario realizzare un driver per la sincronizzazione temporale del Timer PPS con la data del sistema embedded, a sua volta sincronizzata via NTP con il ricevitore GPS a terra.

L'osservatorio sarà deposto sul fondo del mare e quindi non sarà fisicamente accessibile fino al momento del suo recupero. Questo rende necessaria la gestione da remoto del sistema (per es. riavvio del software di acquisizione, verifica malfunzionamenti, ecc). Si potrebbe inoltre rendere necessario dover caricare un nuovo firmware sull'Arduino, quindi andrà implementata la possibilità di poterlo trasferire. In caso di sviluppi successivi alla deposizione, si vuole poter aggiornare l'immagine del sistema embedded in maniera sicura.

Andrà implementata quindi la possibilità di caricamento da remoto del firmware.

## 8. Conclusioni e sviluppi futuri

In conclusione è stata realizzata l'elettronica per la gestione:

- dell'alimentazione degli strumenti, tenendo conto delle loro specificità di alimentazione;
- del monitoraggio e controllo dello stato di funzionamento degli strumenti;
- dell'FPGA e delle seriali RS-232 degli strumenti.

Partendo da quanto è stato sviluppato in questo lavoro, nel futuro si vuole:

- sviluppare, all'interno della Microzed, il sistema operativo embedded per ospitare il software di acquisizione e i tool di gestione;
- sviluppare il driver per la sincronizzazione del Timer PPS con il sistema embedded e di quest'ultimo con un server NTP;
- progettare e sviluppare ulteriormente il software per l'acquisizione dei dati.

---

<sup>4</sup> Network Time Protocol è un protocollo per sincronizzare gli orologi dei computer all'interno di una rete.

## **Bibliografia**

EMSO, (2015). <http://emso-eu.org>.

EMSO-MedIT, (2016). <http://www.emso-medit.it>.

Beranzoli L. et al., (1998). *GEOSTAR: A geophysical and oceanographic station for abyssal research*.  
Physics of the Earth and Planetary Interiors 108.2 175-183.

Xilinx AXI Timer, (2016). [https://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/axi\\_timer/v2\\_0/pg079-axi-timer.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/axi_timer/v2_0/pg079-axi-timer.pdf)



# Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2017 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**