

# RAPPORTI TECNICI INGV

Sistema di sincronizzazione dei dati multiparametrici acquisiti dagli osservatori sottomarini cablati nella facility di EMSO Western Ionian Sea



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

471

## **Direttore Responsabile**

Valeria DE PAOLA

## **Editor in Chief**

Milena MORETTI (editorinchief.collane-editoriali@ingv.it)

## **Editorial Board**

Laura ALFONSI (laura.alfonsi@ingv.it)  
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)  
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)  
Daniele BRAVI (daniele.bravi@ingv.it)  
Simona CARANNANTE (simona.carannante@ingv.it)  
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)  
Luca COCCHI (luca.cocchi@ingv.it)  
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)  
Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)  
Lorenzo CUGLIARI (lorenzo.cugliari@ingv.it)  
Alessia DI CAPRIO (alessia.dicaprio@ingv.it)  
Roberto DI MARTINO (roberto.dimartino@ingv.it)  
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)  
Domenico DORONZO (domenico.doronzio@ingv.it)  
Filippo GRECO (filippo.greco@ingv.it)  
Alessandro IAROCCI (alessandro.iarocci@ingv.it)  
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)  
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)  
Daniele MELINI (daniele.melini@ingv.it)  
Anna NARDI (anna.nardi@ingv.it)  
Lucia NARDONE (lucia.nardone@ingv.it)  
Marco OLIVIERI (marco.olivieri@ingv.it)  
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)  
Pierangelo ROMANO (pierangelo.romano@ingv.it)  
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi@ingv.it)  
Maurizio SOLDANI (maurizio.soldani@ingv.it)  
Sara STOPPONI (sara.stopponi@ingv.it)  
Umberto TAMMARO (umberto.tammaro@ingv.it)  
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)  
Stefano URBINI (stefano.urbini@ingv.it)

## **Segreteria di Redazione e Produzione**

Francesca DI STEFANO - Coordinatore  
Rossella CELI  
Robert MIGLIAZZA  
Barbara ANGIONI  
Massimiliano CASCONI  
Patrizia PANTANI  
redazione.cen@ingv.it

## **REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO**

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

# RAPPORTI TECNICI INGV

Sistema di sincronizzazione dei dati  
multiparametrici acquisiti dagli osservatori  
sottomarini cablati nella facility di  
EMSO Western Ionian Sea

*Synchronization system for multiparameter data  
acquired by cabled submarine observatories in  
the EMSO Western Ionian Sea facility*

Emanuele Giacomozzi, Francesco Simeone, Giuditta Marinaro



INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale

Accettato 25 maggio 2023 | Accepted 25 May 2023

Come citare | How to cite Giacomozzi E., Simeone F., Marinaro G., (2023). Sistema di sincronizzazione dei dati multiparametrici acquisiti dagli osservatori sottomarini cablati nella facility di EMSO Western Ionian Sea. Rapp. Tec. INGV, 471: 1-20, <https://doi.org/10.13127/rpt/471>

In copertina Syncboard e sue interfacce hardware | Cover Syncoboard and hardware interfaces

471



# INDICE



<b>Riassunto</b>	7
<i>Abstract</i>	7
<b>Introduzione</b>	7
<b>1. Sincronizzazione degli strumenti e temporizzazione dei dati</b>	10
<b>2. Principi generali di funzionamento della Syncboard</b>	11
2.1 Modalità di funzionamento e protocollo di comunicazione	12
<b>3. Architettura della logica programmabile</b>	12
<b>4. Caratterizzazione dei segnali di sincronizzazione prodotti della Syncboard</b>	13
<b>5. Interfaccia di controllo</b>	15
<b>6. Conclusioni</b>	17
<b>Finanziamenti</b>	17
<b>Bibliografia</b>	17
<b>Sitografia</b>	17



## Riassunto

Il progetto PON-EMSO InSea (*Initiatives in Supporting the consolidation and enhancement of the EMSO infrastructure and related Activities*) si prefigge di potenziare l'infrastruttura sottomarina situata a largo di Catania e denominata *Western Ionian Sea*, la facility gestita da INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e parte del Consorzio Europeo EMSO (*European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory*). Il progetto di potenziamento ha come obiettivo l'installazione permanente di diversi osservatori multiparametrici di fondo del mare, ad una profondità di circa 2000 metri, alimentati da un cavo elettro-ottico sottomarino connesso ad una stazione di terra presente nel porto di Catania e gestita in collaborazione con l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare). Attraverso il cavo elettro-ottico, la strumentazione sottomarina è parte di una rete ethernet che ha il compito di salvare i dati prodotti dagli osservatori, monitorare e controllare i parametri dell'infrastruttura sottomarina e gestire la temporizzazione di tutti gli strumenti. Questo rapporto tecnico descrive le caratteristiche costruttive e funzionali della scheda di sincronizzazione Syncboard v1.0 realizzata dall'INGV per distribuire la temporizzazione, fornita da un'antenna GPS installata presso la stazione di terra, a tutti gli strumenti installati sugli osservatori sottomarini.

## Abstract

*The PON-EMSO InSea (Initiatives in Supporting the consolidation and enhancement of the EMSO infrastructure and related Activities) project aims to upgrade the seafloor infrastructure located offshore Catania and called Western Ionian Sea, the facility managed by INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) and part of the European Consortium EMSO (European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory). The objective of the project is the permanent installation of several multiparametric seabed observatories, at a depth of about 2000 meters, powered by a submarine electro-optical cable connected to a shore station located in the port of Catania and managed in collaboration with INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare). Through the electro-optical cable, the submarine instrumentation is connected to the onshore laboratory; all the instruments are nodes of an ethernet network whose purpose is to save the data produced by the observatories, monitor and control the parameters of the submarine infrastructure and manage the timing of all the instruments. This technical report describes the constructional and functional characteristics of the Syncboard v1.0 synchronization board developed by INGV to distribute the timing supplied by a GPS antenna, installed at the shore station, to all the instruments installed on the submarine observatories.*

Keywords Osservatori multidisciplinari sottomarini, Sincronizzazione; Rete temporanea | Multidisciplinary seafloor observatories, Synchronization.



---

## Introduzione

Il progetto PON-EMSO InSea ha lo scopo di potenziare l'infrastruttura EMSO - *Western Ionian Sea* gestita da INGV e installata al largo della costa di Catania. In particolare il progetto InSea ha come obiettivo l'installazione permanente di diversi osservatori multidisciplinari sul fondo del mare, ad una profondità di circa 2000 metri e a una distanza dalla costa di circa 30 km, alimentati attraverso un cavo marino elettro-ottico grazie ad un sistema di potenza presente presso il

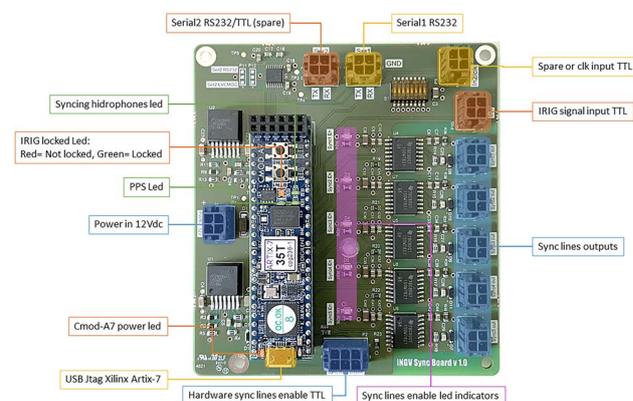
laboratorio di terra situato nel porto di Catania [De Santis et al., 2022]. L'infrastruttura EMSO - *Western Ionian Sea*, ha tre funzioni principali:

1. fornire l'alimentazione agli osservatori;
2. fornire un riferimento temporale comune alla strumentazione degli osservatori;
3. consentire la comunicazione con gli strumenti ed il salvataggio dei dati acquisiti.

La strumentazione degli osservatori, così come le macchine utilizzate per gestirli, sono nodi di una rete ethernet; in questo tipo di reti le comunicazioni sono asincrone, conseguentemente il tempo di propagazione di un'informazione, come il dato acquisito da uno strumento, non è fisso né prevedibile. Nel caso in cui si associ il dato acquisito al tempo in cui questo viene ricevuto nel laboratorio di Catania, l'incertezza nella propagazione (*jitter* di rete) contribuisce direttamente all'errore temporale. Per poter eliminare questo effetto è necessario etichettare temporalmente i dati acquisiti prima del loro invio sulla rete. L'infrastruttura EMSO - *Western Ionian Sea* distribuisce il riferimento temporale alla strumentazione mediante due protocolli di rete standardizzati e utilizzati internazionalmente: l'NTP (*Network Time Protocol*) ed il PTP (*Precision Time Protocol*) [Timetools]. Una parte della strumentazione gestisce direttamente questi protocolli per sincronizzarsi con il tempo dell'esperimento; in altri casi questo viene fatto usando protocolli proprietari ed in altri ancora non è presente un meccanismo interno di sincronizzazione. La scheda elettronica descritta in questo documento, denominata Syncboard e mostrata in Figura 1, è stata progettata e realizzata dall'INGV per essere integrata in ogni osservatorio sottomarino con il compito di distribuire, ad alcuni degli strumenti presenti nell'osservatorio, il tempo fornito da un'antenna GPS installata nel laboratorio di terra e fornire un tempo di riferimento per il riallineamento dei dati prodotti dagli strumenti che non prevedono un protocollo di sincronizzazione. Prima di procedere alla descrizione delle sue caratteristiche tecniche, si vogliono mostrare i principali concetti che ne hanno guidato la progettazione.

Figura 1 Syncboard e sue interfacce hardware.

Figure 1 Syncboard and hardware interfaces.



Dopo un'analisi delle diverse tipologie di dati prodotte dagli strumenti e della loro frequenza di campionamento, è stata individuata la massima indeterminazione richiesta nella ricostruzione del tempo in ogni osservatorio e la modalità più opportuna di distribuzione dell'informazione temporale. In particolare, la maggior parte degli strumenti installati implementa un protocollo di comunicazione seriale asincrono RS232 e produce dati con una frequenza di campionamento massima di qualche decina di Hz (gravimetro, correntometro, sismometro, magnetometro, ecc.) ma la presenza di idrofoni a larga banda, che possono lavorare a frequenze di campionamento di circa 512 kHz, determina il principale vincolo per l'indeterminazione temporale richiesta che non può essere superiore ad 1  $\mu$ s.

È stata quindi progettata un'infrastruttura di comunicazione asincrona, in grado di garantire la suddetta precisione temporale negli osservatori, implementata come una rete ethernet su fibra ottica i cui nodi sono costituiti dagli strumenti e dagli switch compatibili con il protocollo PTP.

Questo protocollo è analogo a quello denominato NTP, utilizzato per esempio da qualunque computer per sincronizzare la propria data di sistema, ma consente di raggiungere una precisione temporale maggiore. Se infatti il protocollo NTP consente di raggiungere la precisione di 1 ms, il protocollo PTP può garantire una precisione di qualche decina di nanosecondi. Ciò è possibile perché il PTP, pur basandosi sullo stesso principio di funzionamento del protocollo NTP (misurazione del tempo di ritardo della linea di trasmissione attraverso l'invio di appositi pacchetti), si serve di un hardware dedicato (switch ethernet che implementano il PTP a livello hardware) in grado di dare priorità massima ai pacchetti di sincronizzazione e di misurare il loro tempo di transito all'interno di ogni switch. In altre parole, ogni pacchetto di sincronizzazione scambiato tra il Master (detentore del tempo di riferimento GPS) e gli slave (dispositivi da sincronizzare), viene etichettato con un tempo di partenza e di arrivo direttamente dalla periferica hardware evitando l'introduzione di ulteriori indeterminazioni dovute a strati software superiori come avviene nel protocollo NTP. Tale infrastruttura consente quindi di ricostruire, negli osservatori sottomarini, il tempo GPS di terra con una indeterminazione inferiore ad un microsecondo. Essa è realizzabile con dispositivi facilmente reperibili in commercio e si basa sul protocollo di sincronizzazione PTP che è largamente utilizzato tra gli strumenti oceanografici. Inoltre, proprio per la sua natura asincrona, consente di far convivere più protocolli di sincronizzazione semplicemente aggiungendo l'opportuno server nel laboratorio di terra.

La Figura 2 mostra uno schema semplificato del sistema di sincronizzazione utilizzato. Sono state raffigurate infatti solamente le connessioni interessate al traffico dei dati per la sincronizzazione degli strumenti ed inoltre, per semplificare la comprensione di questo documento, è stato rappresentato solo uno dei quattro osservatori (*Off-shore Observatory*) e sono stati riportati solamente tre strumenti per rappresentare i tre principali metodi di sincronizzazione adottati.

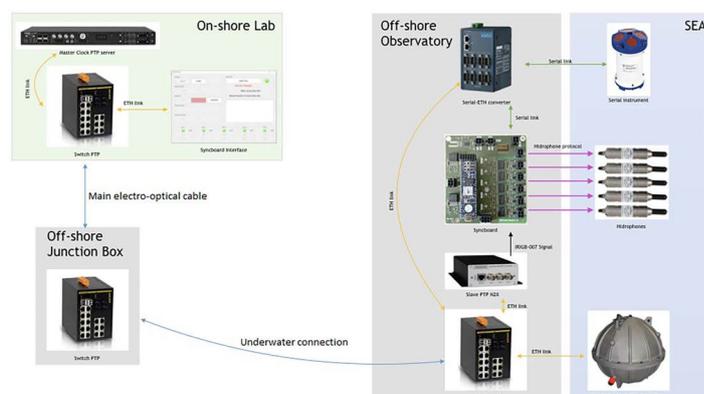


Figura 2 Schema di connessione dell'infrastruttura.

Figure 2 Infrastructure connection diagram.

Gli altri osservatori non rappresentati, sono comunque connessi al nodo denominato "Off-shore Junction Box" che ha il compito di trasformare la media tensione presente sul cavo nella bassa tensione utilizzata negli osservatori, di convogliare i dati provenienti da essi e spedirli al laboratorio di terra (*On-Shore Lab*) attraverso il cavo marino elettro-ottico [De Santis et al., 2022]. Come è possibile osservare nella Figura 2, nell'osservatorio schematizzato con il rettangolo denominato *Off-shore Observatory*, è presente uno switch PTP a cui sono direttamente connessi tutti gli strumenti che implementano questo stesso protocollo di sincronizzazione. Gli strumenti seriali che non supportano nessuna modalità di sincronizzazione, sono connessi ad un media converter (*Serial-ETH converter*) che ha il compito di incapsulare i dati provenienti dagli strumenti

seriali nel protocollo di comunicazione ethernet. Infine gli idrofoni, dotati di un protocollo proprietario di sincronizzazione, sono direttamente connessi alla Syncboard. La scheda di sincronizzazione riceve il riferimento temporale dal dispositivo N2X e lo propaga agli idrofoni e al Serial-ETH converter. Successivamente sarà maggiormente dettagliato il ruolo del dispositivo N2X nell'infrastruttura.

## 1. Sincronizzazione degli strumenti e temporizzazione dei dati

Affinché uno strumento possa produrre dati già etichettati, deve essere sincronizzabile con un tempo esterno noto e, per evitare che il suo clock interno derivi nel tempo rispetto al tempo GPS di riferimento, è necessario che il processo di sincronizzazione sia eseguito periodicamente. Purtroppo non tutti gli strumenti sono sincronizzabili e in questo caso è necessario valutare il metodo più opportuno per etichettare i dati prodotti limitando le incertezze temporali introdotte dalla rete di trasmissione. Gli strumenti presenti negli osservatori possono essere suddivisi in tre categorie in funzione della loro frequenza di campionamento e del meccanismo di sincronizzazione:

1. strumenti con protocollo di comunicazione seriale RS232, non sincronizzabili a bassa frequenza;
2. strumenti che supportano il protocollo di sincronizzazione PTP a media frequenza;
3. strumenti con protocollo di sincronizzazione proprietario ad alta frequenza (idrofoni).

### Strumenti seriali a bassa frequenza

Gli strumenti seriali a bassa frequenza non implementano nessun metodo di sincronizzazione; è stato quindi necessario sviluppare un metodo specifico di sincronizzazione, che prescinde dal funzionamento dello specifico strumento. Questi strumenti sono pensati principalmente per acquisizioni di grandezze multidisciplinari (CTD (Conductivity Temperature Depth), correntometri, magnetometri, gravimetri e sensori chimici) ed hanno tempi di campionamento che variano, in funzione del parametro specifico, da alcune misure l'ora fino ad alcuni Hz.

Il metodo più semplice che si possa adottare consiste nell'etichettare temporalmente ogni dato nel momento in cui questo è ricevuto nel laboratorio di terra. Questo significa che il tempo attribuito ai dati è inevitabilmente aumentato del tempo di trasmissione della rete che purtroppo non è costante ma affetto da una variabilità (*jitter* di rete) che può dipendere anche dall'intensità del traffico dati istante per istante. Inoltre, siccome l'estrazione e l'etichettatura del dato è un processo software, il tempo misurato conterrà anche il ritardo di sistema che è dipendente dal sistema operativo e dalla particolare implementazione software adottata. Per semplicità, d'ora in poi con il termine "*jitter* di sistema" si farà riferimento alla somma del *jitter* di rete e del *jitter* software. In generale, è lecito utilizzare questo metodo di etichettatura dei dati se il tempo di campionamento (inverso della frequenza di campionamento) dello strumento è più grande del *jitter* di sistema. Il *jitter* di sistema che ci attendiamo è dell'ordine di un centinaio di millisecondi ed il tempo di trasmissione circa un ordine di grandezza in meno. Questo semplice metodo, in un'infrastruttura con queste caratteristiche, permette di gestire frequenze di campionamento degli Hz, tuttavia non permette di controllare nel tempo né il valore del *jitter* né il tempo di trasmissione. La scheda elettronica Syncboard è stata progettata per generare un flusso di dati seriali, contenenti il tempo UNIX ricostruito nell'osservatorio, e spediti con una variabilità di 100 ns rispetto al tempo GPS del laboratorio di terra. Etichettando quindi i dati della Syncboard nel momento in cui sono ricevuti a terra, è possibile misurare statisticamente il *jitter* di sistema per correggere i tempi di arrivo dei dati ricevuti dagli altri strumenti seriali ed attribuirgli un errore statistico. Ciò è lecito perché i dati prodotti dagli strumenti ed il flusso di byte prodotto dalla

Syncoard, attraversano necessariamente gli stessi rami della rete ethernet cosicché l'unica causa del jitter è da attribuirsi agli switch ethernet presenti nell'infrastruttura.

### Strumenti a media frequenza compatibili con il protocollo PTP

Gli strumenti che supportano il protocollo PTP sono in grado di sincronizzarsi autonomamente e quindi producono dati già etichettati temporalmente. Gli strumenti che implementano questo protocollo possono essere sincronizzati anche nel caso di alte frequenze di campionamento; nel nostro caso specifico i dati sono campionati da circa 100Hz nel caso dei sismometri fino a circa 4kHz nel caso dell'idrofono sismico.

### Strumenti ad alta frequenza con protocollo di sincronizzazione proprietario.

Gli idrofoni sono gli unici strumenti ad alta frequenza di campionamento ed utilizzano un protocollo di sincronizzazione proprietario; una parte della logica interna della Syncoard è stata sviluppata specificatamente per gestire questo protocollo verso cinque idrofoni contemporaneamente.

## 2. Principi generali di funzionamento della Syncoard

La scheda Syncoard, progettata e realizzata dall'INGV, riceve i segnali di sincronizzazione temporale dal dispositivo N2X della Meinberg, presente in ogni osservatorio. Questo dispositivo è uno Slave PTP che ricostruisce il tempo GPS del Master Clock, ed è in grado di fornirlo esternamente tramite dei segnali digitali come il PPS (*Pulse Per Second*) e l'IRIG (*Inter-Range Instrumentation Group*).

La Syncoard ha lo scopo di decodificare il tempo UNIX generato dal dispositivo N2X presente negli osservatori, fornire gli opportuni segnali di sincronizzazione agli idrofoni e generare un flusso dati seriale per permettere la correzione dei tempi di arrivo a terra dei dati provenienti dagli strumenti seriali. Per garantire un'alta tenuta dei segnali generati e la necessaria precisione temporale richiesta dal protocollo di sincronizzazione degli idrofoni, si è ritenuto opportuno dotare la Syncoard di una logica programmabile (FPGA).

Per snellire la componentistica elettronica e rilassare i requisiti costruttivi della Syncoard è stato individuato il modulo Cmod-A7 [Digilent] della Digilent che ospita una FPGA Artix-7 della Xilinx, una memoria flash, un'interfaccia USB-JTAG ed i regolatori di tensione necessari per la corretta alimentazione di tutti i suoi componenti. La Syncoard è stata quindi progettata per ospitare il modulo Cmod-A7, fornirgli la corretta alimentazione e le opportune interfacce elettriche verso l'esterno. In particolare, i segnali di sincronizzazione per gli idrofoni generati dal modulo Cmod-A7 sono convertiti dai livelli logici LVCMOS 3.3V a quelli TTL 5V attraverso gli isolatori digitali ISOW7821 della *Texas Instruments*. Questo componente isola galvanicamente l'elettronica della Syncoard da quella degli idrofoni impedendo che qualunque problema elettrico, derivante da cortocircuiti o allagamenti degli idrofoni, si propaghi internamente verso l'elettronica di controllo dell'osservatorio. La Syncoard è inoltre in grado di rilevare un eventuale corto circuito di ognuna delle cinque linee di sincronizzazione e di disabilitarle automaticamente. Questo sistema di "autoprotezione" consente di preservare gli isolatori digitali delle linee compromesse e di interrompere l'immissione di una corrente verso il mare che potrebbe innescare un processo di corrosione del connettore esterno e causare infiltrazioni all'interno del contenitore dell'elettronica di controllo dell'osservatorio.

Le comunicazioni tra la Syncboard ed il laboratorio di terra avvengono attraverso una porta seriale asincrona RS232. All'accensione di tutta l'infrastruttura sottomarina, l'FPGA della scheda è stata configurata per partire dal bitstream principale nella modalità denominata "operativa". In questa modalità la Syncboard, dopo essersi agganciata automaticamente al segnale IRIG del dispositivo N2X, inizia a trasmettere i segnali di sincronizzazione verso gli idrofoni e la sequenza di byte seriali utilizzati per "sincronizzare" i dati prodotti dagli strumenti seriali.

È presente inoltre una seconda modalità di funzionamento denominata di "debug e controllo" che può essere attivata tramite un apposito comando inviato alla Syncboard. Questa modalità consente di modificare alcuni parametri della Syncboard, di effettuare l'upload di nuove versioni di firmware in diverse aree di memoria nella flash presente nel modulo Cmod-A7 e di riavviare, via software, un nuovo firmware. Per evitare di corrompere irreparabilmente il firmware originale, che garantisce la comunicazione con la Syncboard, è stata impedita ogni operazione di sovrascrittura e quindi i nuovi firmware possono essere memorizzati necessariamente in aree della memoria flash differenti da quella in cui risiede il firmware di default.

## 2.1 Modalità di funzionamento e protocollo di comunicazione

Come accennato precedentemente, la Syncboard è stata progettata per offrire due diverse modalità di funzionamento denominate "operativa" e "debug e controllo". L'operatività della logica programmabile adibita alla decodifica del segnale IRIG e alla sincronizzazione degli idrofoni è garantita indipendentemente dalla modalità di funzionamento selezionata. Ciò che le differenzia consiste nella modalità di comunicazione della Syncboard verso il laboratorio di terra. Nella modalità "operativa" la scheda spedisce ogni secondo un pacchetto di dati costituito da 6 byte in cui è codificato il tempo UNIX a 32 bit ed il proprio stato. L'invio di un opportuno comando in questa modalità, consente alla Syncboard di passare alla modalità "debug e controllo" che avviene solo dopo aver completato l'invio del pacchetto in corso. In questa seconda modalità la Syncboard interrompe la trasmissione dei dati di sincronizzazione sulla porta seriale e resta in attesa di nuovi comandi.

Il protocollo di comunicazione implementato per impartire comandi alla Syncboard consiste in una sequenza di byte a lunghezza fissa e pari a 24 byte.

Header	CMD	Address 32 bit	Data 16 byte	CRC	Footer
--------	-----	----------------	--------------	-----	--------

Nella Syncboard è stata implementata una FIFO profonda 24 byte per la ricezione dei byte dei pacchetti. Al riempimento di essa, la Syncboard controlla la congruenza del pacchetto ricevuto attraverso la verifica dei byte Header, Footer e CRC e, in caso di esito positivo, processa il comando ricevuto. Se uno dei tre controlli fallisce, il comando non viene eseguito e non è restituito nessun tipo di errore. Alla ricezione di ogni nuovo byte, viene scartato il byte più vecchio nella FIFO e viene nuovamente effettuato il controllo di validità del pacchetto contenuto nella FIFO. Questo meccanismo consente alla Syncboard di allinearsi automaticamente al successivo comando ricevuto correttamente. Attraverso l'invio di un opportuno comando è possibile passare alla modalità "operativa" nella quale sarà riattivato l'invio dei dati seriali di sincronizzazione.

## 3. Architettura della logica programmabile

L'FPGA Artix-7 della Xilinx, presente sulla scheda Cmod-A7 della Digilent è stata programmata come mostrato nella Figura 3.

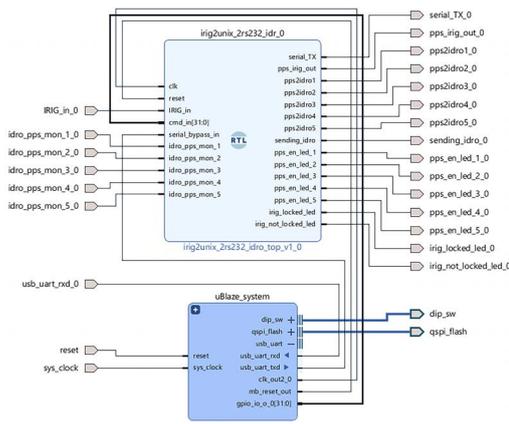


Figura 3 Architettura della logica programmabile.  
Figure 3 Programmable logic architecture.

Come si può notare essa è costituita da due blocchi. Il blocco denominato “irig2unix\_2rs232\_idr\_0” ha il compito di decodificare il segnale IRIGB-007, codificare l’informazione temporale nel formato UNIX per generare il flusso di dati seriali esposto nei paragrafi precedenti e contestualmente, inviarla agli idrofoni secondo un protocollo proprietario. Il secondo blocco, denominato “uBlaze\_system” è l’istanza del microcontrollore Microblaze con alcune periferiche come mostrato nella Figura 4. Esso ha il compito di eseguire i comandi ricevuti attraverso una porta di comunicazione seriale per effettuare le operazioni di controllo, upload e avvio di nuovi bitstream da remoto.

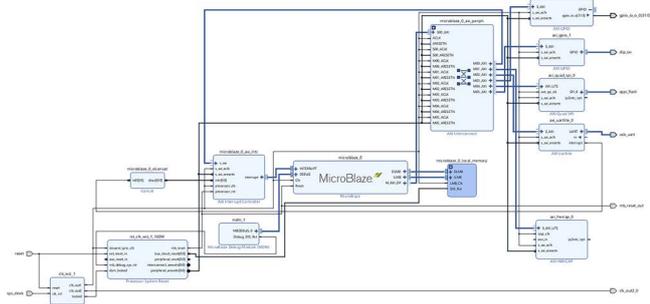


Figura 4 Dettaglio del modulo uBlaze\_system.  
Figure 4 Detail of uBlaze\_system module.

I due moduli sono collegati attraverso un bus a 32 bit unidirezionale diretto dal modulo uBlaze\_system verso il modulo irig2unix\_2rs232\_idr\_0 e che consente di configurare alcuni parametri di funzionamento attraverso i comandi seriali ricevuti dal microcontrollore Microblaze. Nel modulo uBlaze\_system è inoltre presente un PLL in grado di ricevere il clock presente sulla Cmod-A7 a 12 MHz e generare un clock a 50 MHz per il funzionamento del modulo uBlaze\_system ed un clock a 100 MHz per il modulo irig2unix\_2rs232\_idr\_0. In questa configurazione quindi, la Syncboard è stata progettata per lavorare in modo asincrono rispetto al segnale di temporizzazione IRIG e di conseguenza i segnali di sincronizzazione da essa generati sono caratterizzati da un jitter di 10 ns (tempo di campionamento a 100 MHz) rispetto al segnale IRIG di input.

#### 4. Caratterizzazione dei segnali di sincronizzazione prodotti della Syncboard

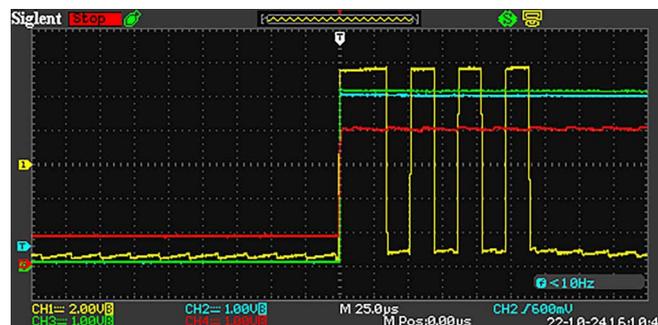
Per caratterizzare la qualità dei segnali di sincronizzazione, in particolare per quanto riguarda il jitter, è stato allestito un setup sperimentale, riportato nello schema di Figura 2, che riproduce le caratteristiche principali di quello reale, in fase di realizzazione. Tale infrastruttura è composta

quindi da un PC su cui sono in esecuzione le interfacce di controllo della Syncboard e degli idrofoni, il master clock con il server PTP, gli switch PTP che saranno presenti nella Junction Box e negli osservatori, le connessioni in fibra ottica con gli opportuni attenuatori per simulare la reale lunghezza del cavo marino, il dispositivo N2X per ricostruire il tempo GPS negli osservatori, il media converter EKI seriale-ethernet e un idrofono. Questo setup è stato utilizzato per validare le funzionalità della Syncboard e caratterizzare il segnale di sincronizzazione ricostruito rispetto a quello del master clock.

La Figura 5 mostra uno screenshot dell'oscilloscopio in cui sono stati registrati i seguenti segnali:

- CH1 -> Canale Tx seriale RS232 della Syncboard impostata in modalità "operativa".
- CH2 -> PPS ricostruito dal dispositivo N2X.
- CH3 -> PPS generato dal GPS della stazione di terra.
- CH4 -> Segnale di sincronizzazione per gli idrofoni generato della Syncboard.

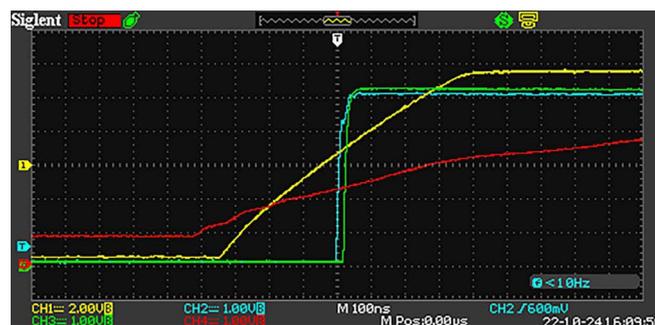
Il trigger dell'oscilloscopio è stato impostato sul CH2 e quindi sul PPS ricostruito dal dispositivo N2X.



**Figura 5** Segnali di sincronizzazione. La scala temporale con cui sono mostrati i segnali è stata impostata a 25  $\mu\text{s}/\text{div}$  per mostrare l'intero byte seriale (CH1) trasmesso in corrispondenza del PPS.

*Figure 5* Synchronization signals. The time scale has been set at 25  $\mu\text{s}/\text{div}$  to show the entire serial byte (CH1) transmitted in correspondence with the PPS.

La Figura 6 mostra il dettaglio dei segnali su una scala temporale ridotta a 100 ns/div. In questa figura è possibile osservare che lo start bit del byte seriale trasmesso ha un tempo di salita di circa 600 ns ed è trasmesso con un anticipo di circa 300 ns per far coincidere la metà del tempo di salita con il PPS generato dal dispositivo N2X (segnale di riferimento della Syncboard). Il segnale di sincronizzazione degli idrofoni, essendo di tipo esponenziale, è stato anticipato di un tempo di circa 400 ns per allineare il valore di metà dinamica con il PPS generato.



**Figura 6** Segnali di sincronizzazione. La scala temporale con cui sono mostrati i segnali è stata impostata a 100 ns/div.

*Figure 6* Synchronization signals. The time scale has been set at 100 ns/div.

La Figura 7 mostra i segnali prodotti dalla Syncboard (seriale e sincronizzazione idrofoni) e il PPS del GPS (CH3) in relazione al PPS ricostruito (CH2) sul quale è stato posto il trigger dell'oscilloscopio. La figura è il risultato di circa 30 minuti di acquisizione mostrati in persistenza per valutare il *jitter* dei segnali prodotti, dovuto al campionamento che la Syncboard effettua sul segnale IRIG generato dal dispositivo N2X (e quindi sincrono al PPS nella figura denominato CH2). Come previsto, campionando alla frequenza di 100 MHz, il *jitter* misurato è pari a 10 ns. Questo è ben visibile sul segnale di sincronizzazione degli idrofoni (CH4). Se si osserva il segnale della trasmissione seriale (CH1), si può riscontrare che la larghezza della fascia di persistenza nell'istante in cui il segnale inizia a salire rispetta i 10 ns di *jitter*, mentre al raggiungimento del livello di tensione alto, tale fascia risulta essere larga circa 100 ns. Ciò è dovuto all'indeterminazione del tempo di salita introdotta dal driver utilizzato per traslare i segnali logici da LVDS a quelli RS232. Infine, il PPS del GPS (CH3), rappresenta il *jitter* relativo tra il PPS ricostruito e quello del GPS stesso. Tale valore rientra nelle specifiche del dispositivo N2X in cui è dichiarato essere compreso nell'intervallo +/-100 ns.



Figura 7 *Jitter* dei segnali di sincronizzazione della Syncboard rispetto al tempo GPS del laboratorio di terra.  
Figure 7 *Jitter of Syncboard sync signals versus on-shore lab GPS time.*

## 5. Interfaccia di controllo

L'interfaccia di controllo, sviluppata in matlab, è utilizzata per eseguire il debug di tutte le funzionalità hardware e software della Syncboard. Come mostrato nella Figura 8, è composta da diverse sezioni.

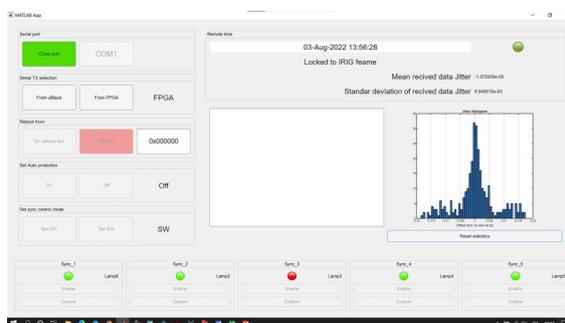


Figura 8 Interfaccia di controllo della Syncboard.  
Figure 8 *Syncboard control interface.*

### Sezione "Serial port"

Consente di definire la porta seriale di comunicazione del PC ed aprire/chiedere la comunicazione con la Syncboard.

### Sezione “Serial TX selection”

Consente di selezionare la modalità di funzionamento della Syncboard:

From uBlaze: modalità di debug e controllo.

From FPGA: modalità operativa.

### Sezione “Reboot from”

Questa sezione permette di avviare altri bitream residenti nella memoria flash del modulo Cmod-A7.

### Sezione “Set auto protection”

Sezione per abilitare e disabilitare la funzione di autoprotezione dei segnali di sincronizzazione degli idrofoni attraverso i bottoni “On” e “Off”.

### Sezione “Set sync control mode”

Sezione per selezionare il metodo di controllo per l’abilitazione dei segnali di sincronizzazione per gli idrofoni.

HW: La Syncboard controlla i segnali di sincronizzazione attraverso lo stato dei segnali hardware sull’apposito connettore.

SW: La Syncboard controlla i segnali di sincronizzazione attraverso comandi software.

### Sezioni “Sync\_n” con $n=1-5$

Ogni sezione è composta da un indicatore dello stato della rispettiva linea di sincronizzazione per gli idrofoni, un bottone per abilitare la linea e uno per disabilitarla.

### Sezione “Remote time”

In questa sezione sono visualizzate le informazioni relative al tempo della Syncboard decodificato dal segnale IRIGB-007. Il campo Date-Time indica la data e l’ora e l’indicatore verde assume alternativamente colore verde chiaro e verde scuro alla ricezione dei dati trasmessi dalla Syncboard. Sotto al campo Date-Time, è visualizzata una stringa che indica se la Syncboard si è agganciata ai frame del segnale IRIG. Se non è presente il segnale IRIG o la scheda non riesce ad agganciarsi, compare la scritta rossa “IRIG NOT PRESENT”.

Tutte le informazioni presenti in questa sezione sono aggiornate alla ricezione di ogni pacchetto di dati spedito dalla Syncboard in modalità operativa. Infine nella stessa sezione sono visualizzate le quantità denominate “Mean recived data jitter” e “Standard deviation of recived data jitter”. Queste quantità sono aggiornate ogni secondo e sono calcolate con i dati ricevuti negli ultimi 5 minuti. Corrispondono rispettivamente al jitter medio di sistema e alla sua deviazione standard e sono calcolati misurando gli intervalli temporali con cui sono stati ricevuti i pacchetti di temporizzazione. Contestualmente è visualizzata una finestra che rappresenta la distribuzione di tali intervalli.

## Conclusioni

Attraverso l'interfaccia di controllo della Syncboard è stato possibile validare tutte le sue funzionalità ed avere una prima indicazione del *jitter* di sistema dei dati seriali. Tale *jitter* è stato rappresentato tramite un istogramma che mostra le variazioni del tempo di ricezione dei dati seriali prodotti dalla Syncboard rispetto ad un secondo ed evidenzia una distribuzione centrata in 0 con delle code a circa +/- 30 ms. Queste informazioni saranno utilizzate per monitorare i parametri della trasmissione e per correggere il tempo di ricezione dei dati consentendo di sincronizzare strumenti seriali con una frequenza di acquisizione minore di 10Hz.

È stato possibile verificare che il massimo contributo al *jitter* misurato è da attribuirsi all'interfaccia di controllo della Syncboard e al sistema operativo e per questo si è indagato su possibili metodi di miglioramento applicabili in futuro. A tal proposito, è stato verificato che il media converter EKI (seriale-ethernet), implementa una particolare estensione del protocollo TCP (TCP timestamps RFC1323 sostituito da RFC7323) sviluppato per misurare il *roundtrip* e che inserisce, nei campi opzionali del TCP, un *timestamp*. È ragionevole pensare che con sviluppi software futuri possa essere utilizzato per etichettare i dati seriali appena trasmessi dagli strumenti eliminando completamente i *jitter* di rete e di sistema.

## Finanziamenti

Questo lavoro è stato finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca per le attività riservate all'Internazionalizzazione della ricerca relative all'Infrastruttura ESFRI EMSO nell'ambito del progetto PON InSEA.

## Bibliografia

De Santis A., Chiappini M., Marinaro G., Guardato S., Conversano F., D'Anna G., Di Mauro D., Cardin V., Carluccio R., Rende Sante F., Giordano R., Rossi L., Simeone F., Giacomozzi E., Fertitta G., Costanza A., Donnarumma G.P., Riccio R., Siena G., Civitarese G., (2022). *InSEA Project: Initiatives in Supporting the Consolidation and Enhancement of the EMSO Infrastructure and Related Activities*. Front. Mar. Sci. 10.3389/fmars.2022.846701

## Sitografia

Digilent. Digilent Reference, Cmod-A7. Web. 2023. <https://digilent.com/reference/programmable-logic/cmod-a7/start>

Timetools. (2 maggio 2018). *A Guide To GPS NTP Servers For Network Time Synchronization*. Web. 2023. <https://timetoolsltd.com/gps/gps-ntp-server/>

# QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

# RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

# MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

[http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html](http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html/)

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

**Coordinamento editoriale**

Francesca DI STEFANO  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Progetto grafico**

Barbara ANGIONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Impaginazione**

Barbara ANGIONI  
Patrizia PANTANI  
Massimiliano CASCONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

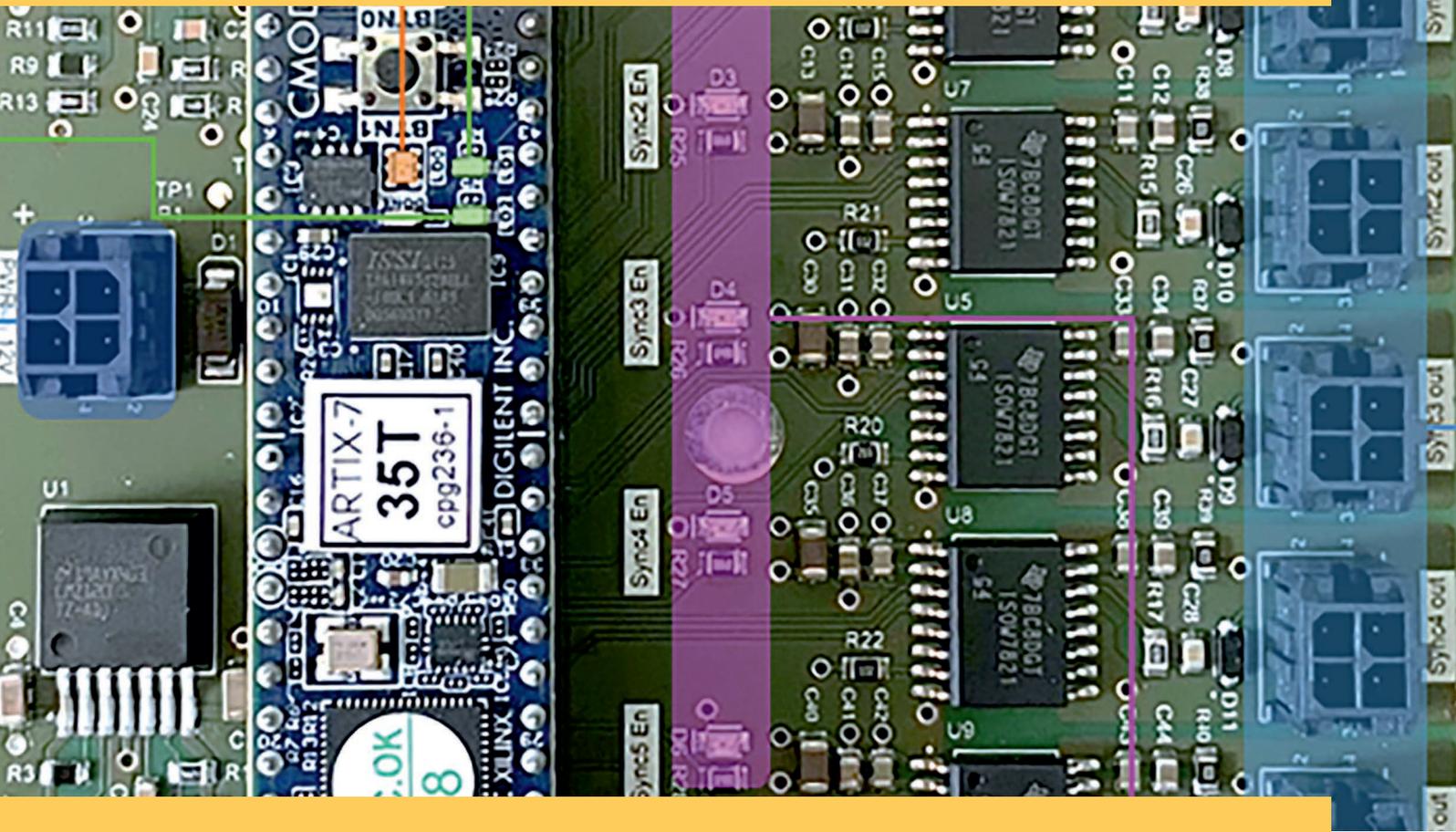
©2023

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Via di Vigna Murata, 605  
00143 Roma  
tel. +39 06518601

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



INGV Sync Board v 1.0