

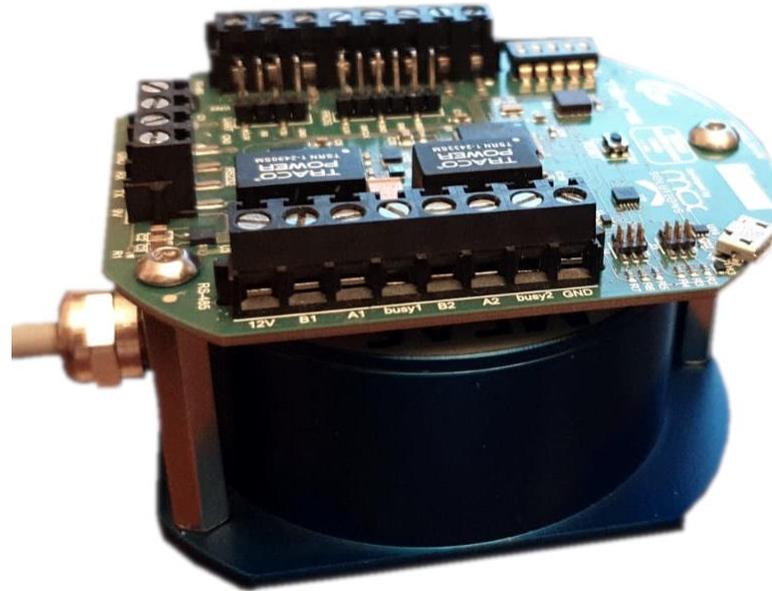


Multi-Sensor node

Multi-Sensor Node

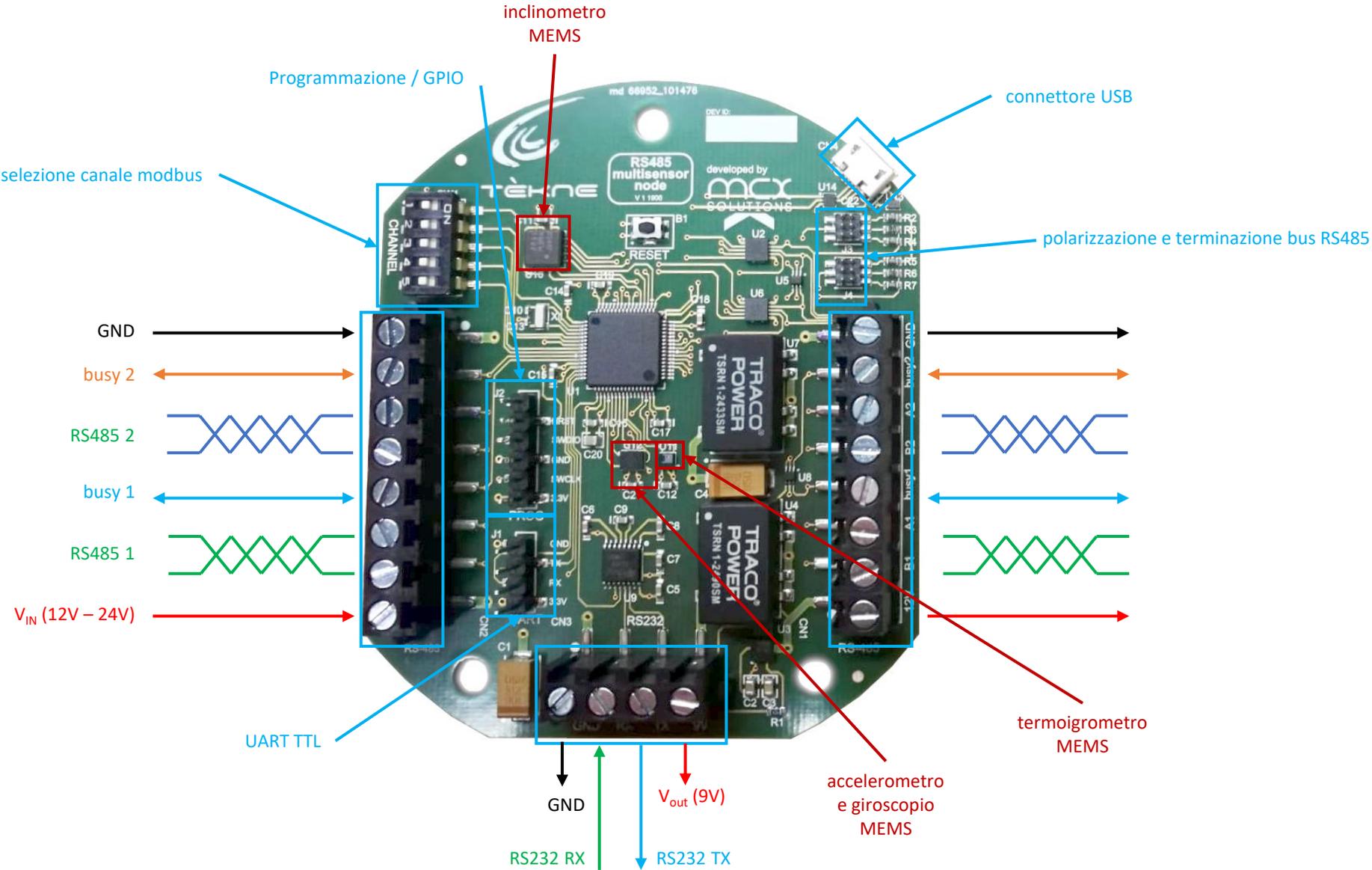
MCX Solutions S.r.l.s. ha sviluppato per Tekne S.r.l. un dispositivo di misura multisensore adatto ad applicazioni di monitoraggio di parametri statici e dinamici di strutture, in ambiente civile e industriale.

L'architettura multisensoriale permette di misurare con i sensori integrati e con quelli direttamente interfacciabili, inclinazioni in 2 dimensioni, accelerazioni lineari e velocità angolari in 3 dimensioni, parametri metereologici e climatici.



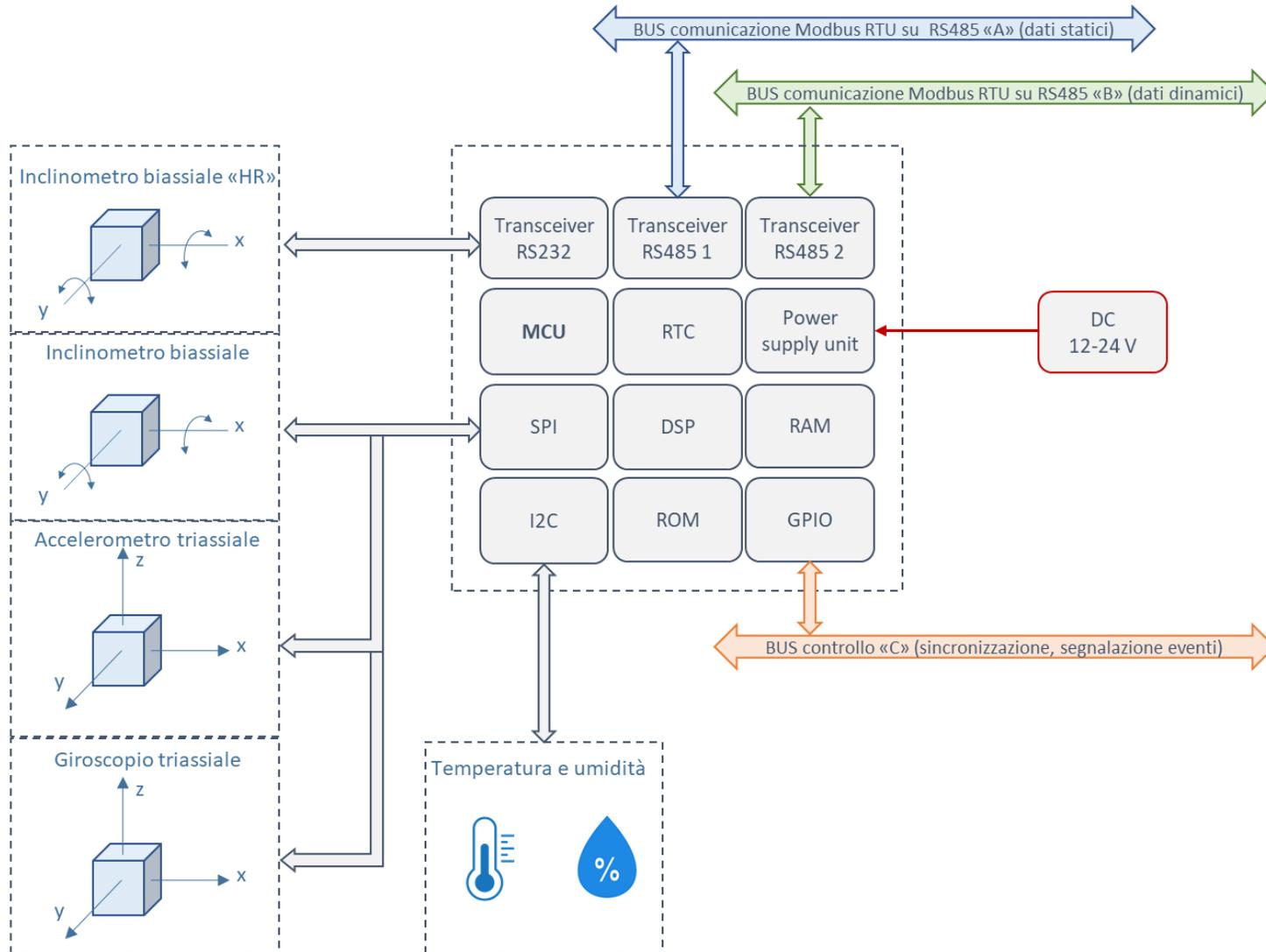
Multi-Sensor Node

Elementi principali



Multi-Sensor Node

Schematizzazione e principali caratteristiche



Alimentazione

- input: 12V – 24V
- DC-DC uscita 9V
- DC-DC uscita 5V
- LDO 3.3V
- Protezione ESD
- Fusibile elettronico

MCU STM32L432RE

- ARM 32-bit Cortex M4 con FPU
- 80 MHz
- DSP
- RTC
- SPI, I2C, USART
- FLASH 512 KB
- RAM 160 KB
- ...

Connettività

- USB
- UART TTL
- RS232
- RS485 (2 bus)
- Modbus (32 indirizzi)
- 2 GPIO per controllo relè

Certificazioni

- CE
- ATEX (in corso di certificazione)

Inclinometro biassiale

- $\pm 5^\circ \pm 10^\circ \pm 15^\circ$
- 360°

Accelerometro triassiale

- $\pm 2.5g$ 1kHz

Accelerometro triassiale

- $(\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16) g$
- $(1.6, 12.5, 26, 52, 104, 208, 416, 833, 1666, 3333, 6667) Hz$

Giroscopio triassiale

- $\pm 125dps, \pm 250dps, \pm 500dps, \pm 1000dps, \pm 2000dps$

Termoigrometro

- $-40^\circ C - 120^\circ C$
- 0 – 100% rH

Sensori

Inclinometro biassiale a variazione di conducibilità



Parametro	Condizioni	Valore	Unità di misura	Note
produttore		TE Connectivity		
modello		G-NSDPG2-003		
campo operativo		±5	°	
risoluzione		0,001	°	
accuratezza assoluta	range operativo 0°C – 50°C	0,06	°	parametro non rilevante in caso di misura relativa
	range operativo -40°C – 85°C	0,2		
deriva in temperatura	range operativo -25°C – 75°C	0,05	°	con escursione termica su tutto il range operativo
	range operativo -40°C – 85°C	0,1		
frequenza dati in uscita		0,5 – 10 – 25	Hz	programmabile
tensione di alimentazione		7 – 30	V DC	
consumo di corrente		20	mA	
range operativo di temperatura		-40 – 85	°C	
interfaccia dati		Tensione, RS232		
grado di protezione		IP 67		
dimensioni		84 x 70 x 34,2	mm	
peso		270	g	

Il sensore inclinometrico impiegato utilizza il principio della variazione differenziale di conducibilità per misurare variazioni di pendenza sui due assi. Il sensore è intrinsecamente compensato in temperatura e fornisce un'uscita digitale mediante connessione RS232. Esso è in grado di fornire la misura dell'inclinazione assoluta con elevata risoluzione e stabilità nel tempo e in temperatura

Sensori

Inclinometro biassiale MEMS



Parametro	Valore	Unità di misura	Note
produttore	STMicroelectronics		
modello	IIS3DHHC		
campo operativo accelerometro	±2,5	g	
risoluzione accelerometro	0,076	mg	
frequenza dati in uscita	1.100	Hz	
banda	235 / 440	Hz	programmabile in tempo reale
densità spettrale di rumore accelerometro	45	µg/√Hz	
variazione sensibilità accelerazione con la temperatura	± 0,006	%/°C	nell'escursione termica da -40 °C a 85 °C
variazione offset accelerazione con la temperatura	± 0,4	mg/°C	
tensione di alimentazione	1,7 – 3,6	V DC	
consumo di corrente	2,5	mA	
range operativo di temperatura	-40 – 85	°C	
interfaccia dati	SPI		
dimensioni	5 x 5 x 1,7	mm	

L'inclinometro biassiale MEMS (Micro Electro Mechanical System) è derivato da un accelerometro triassiale, sfruttando la misura delle componenti dell'accelerazione di gravità sui 3 assi dello spazio e derivando l'inclinazione mediante calcolo trigonometrico (metodo della tangente inversa).

La precisione e la stabilità della misura di inclinazione ottenuta sono direttamente legate a quelle della misura di accelerazione nei 3 assi; il sensore scelto garantisce stabilità in temperatura e in umidità grazie al package ceramico e alla compensazione con il sensore di temperatura integrato

Sensori

Accelerometro e giroscopio triassiale MEMS



L'accelerometro e il giroscopio sono realizzati in tecnologia MEMS ed integrati in un unico package; essi costituiscono una piattaforma inerziale a 6 gradi di libertà (3 accelerazioni lineari e 3 velocità angolari), con frequenza di uscita e sensibilità programmabili in real-time.

La banda del segnale dell'accelerometro e del giroscopio può essere configurata, in tempo reale. I due sensori sono compensati in temperatura in un ampio range operativo, grazie a un sensore di temperatura integrato nello stesso dispositivo.

Parametro	Valore	Unità di misura	Note
produttore	STMicroelectronics		
modello	LSM6DSOX		
campo operativo accelerometro	$\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16$	g	programmabile in tempo reale
campo operativo giroscopio	$\pm 125 / \pm 250 / \pm 500 / \pm 1000 / \pm 2000$	dps	programmabile in tempo reale
risoluzione accelerometro	0,061 / 0,122 / 0,244 / 0,488	mg	funzione del campo operativo
risoluzione giroscopio	4,375 / 8,75 / 17,5 / 35 / 70	mdps	funzione del campo operativo
frequenza dati in uscita accelerometro	1,6 / 12,5 / 26 / 52 / 104 / 208 / 416 / 833 / 1.666 / 3.332 / 6.664	Hz	Programmabile in tempo reale
frequenza dati in uscita giroscopio	12,5 / 26 / 52 / 104 / 208 / 416 / 833 / 1.666 / 3.332 / 6.664	Hz	Programmabile in tempo reale
variazione sensibilità velocità angolare con la temperatura	$\pm 0,007$	%/°C	nell'escursione termica da -40 °C a 85 °C
variazione offset velocità angolare con la temperatura	$\pm 0,01$	dps/°C	
variazione sensibilità accelerazione con la temperatura	$\pm 0,01$	%/°C	nell'escursione termica da -40 °C a 85 °C
variazione offset accelerazione con la temperatura	$\pm 0,1$	mg/°C	
densità spettrale di rumore giroscopio	3,8	mdps/√Hz	
densità spettrale di rumore accelerometro	70, 75, 80, 100	μg/√Hz	funzione del campo operativo
tensione di alimentazione	1,7 – 3,6	V	
consumo di corrente	0,55	mA	
range operativo di temperatura	-40 – 85	°C	
interfaccia dati	I2C, SPI		
dimensioni	2,5 x 3 x 0,83	mm	

Sensori

Temperatura e umidità relativa



Parametro	Valore	Unità di misura	Note
produttore	STMicroelectronics		
modello	HTS221		
campo operativo termometro	-40 – 120	°C	
campo operativo igrometro	0 – 100	% rH	
risoluzione termometro	0,016	°C	
risoluzione igrometro	0,004	% rH	
frequenza dati in uscita	1 / 7 / 12,5	Hz	Programmabile in tempo reale
accuratezza igrometro	±3,5	% rH	
accuratezza termometro	±1	°C	
tensione di alimentazione	1,7 – 3,6	V	
consumo di corrente	0,002	mA	
interfaccia dati	I2C, SPI		
dimensioni	2 x 2 x 0,9	mm	

I sensori di temperatura e umidità relativa sono racchiusi nello stesso package e forniscono misure dei due parametri ambientali, utili a correlare eventuali micro-variazioni di parametri statici (inclinazioni, nel caso del presente sistema) a fenomeni di dilatazione termica della struttura

Protocolli e logica di comunicazione

- Modbus RTU su bus RS485 2

dati richiesti o forniti dal master ai singoli nodi in modalità sincrona: la temporizzazione è gestita dal master stesso che di volta in volta indirizza e dialoga con un singolo nodo o con più nodi (broadcast solo in scrittura)

dati statici (es. inclinazioni, temperatura, umidità, parametri meteorologici, ...)

informazioni di sistema (es. parametri dei sensori, ora di sistema, ...)

programmazione nodo e sensori (es. ora di sistema, fondo scala sensori, soglie, frequenza di campionamento accelerometro, modalità di test, ...)

- Stream seriale custom su RS485 1

dati ad alta frequenza forniti dai nodi al master, in modalità asincrona: ogni nodo può inviare messaggi al master in qualunque momento; la gestione del bus e delle collisioni mediante linee di controllo ausiliari (busy1, busy2)

dati accelerometro e/o giroscopio «on event», al superamento di soglie

stream continuo, ad alta frequenza dei dati di accelerometro e/o giroscopio

Scenario applicativo 1

Sistema stand-alone

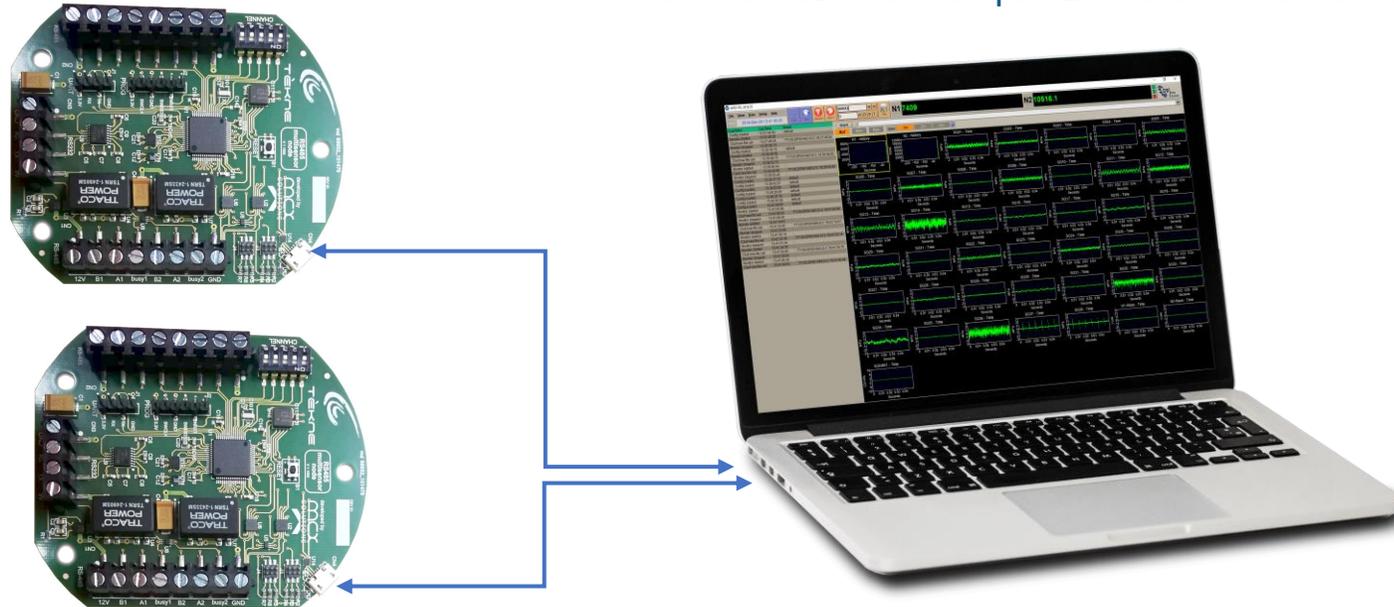
Uno o più nodi possono essere connessi ad un notebook per effettuare misurazioni in tempo reale

L'architettura multisensore permette di misurare:

- inclinazioni in 2 dimensioni
- accelerazioni lineari in 3 dimensioni
- velocità angolari in 3 dimensioni

software custom (CLI o GUI)

alimentazione e acquisizione dati mediante USB



Scenario applicativo 2

monitoraggio isolatori sismici di una struttura

Il sistema consente di effettuare un monitoraggio in continuo, supervisionabile in tempo reale anche da postazioni remote, di parametri statici e dinamici della struttura al fine di determinarne il comportamento nel tempo, sia in risposta alle sollecitazioni ordinarie (escursioni termiche, assestamenti), sia in risposta a eventi straordinari (sisma, cedimenti).

L'architettura multisensore permette di misurare, in corrispondenza di ogni isolatore sismico:

- inclinazioni in 2 dimensioni,
- accelerazioni lineari in 3 dimensioni
- velocità angolari in 3 dimensioni

L'architettura **modulare**, **espandibile** e **riconfigurabile**; il carico computazionale dell'elaborazione e dell'analisi dei segnali dinamici è distribuito sui vari elementi della rete di monitoraggio, in particolare sui singoli nodi di rilevazione, essendo questi dotati di microcontrollore e processore di segnali dedicato.

Questo approccio permette di interconnettere diversi accelerometri, anche ad alte frequenze di campionamento, e di consentire un efficace analisi real-time, superando le limitazioni di banda della rete di comunicazione e limitando le risorse chieste al sistema di controllo centrale.

Scenario applicativo 2

monitoraggio isolatori sismici di una struttura – topologia del sistema

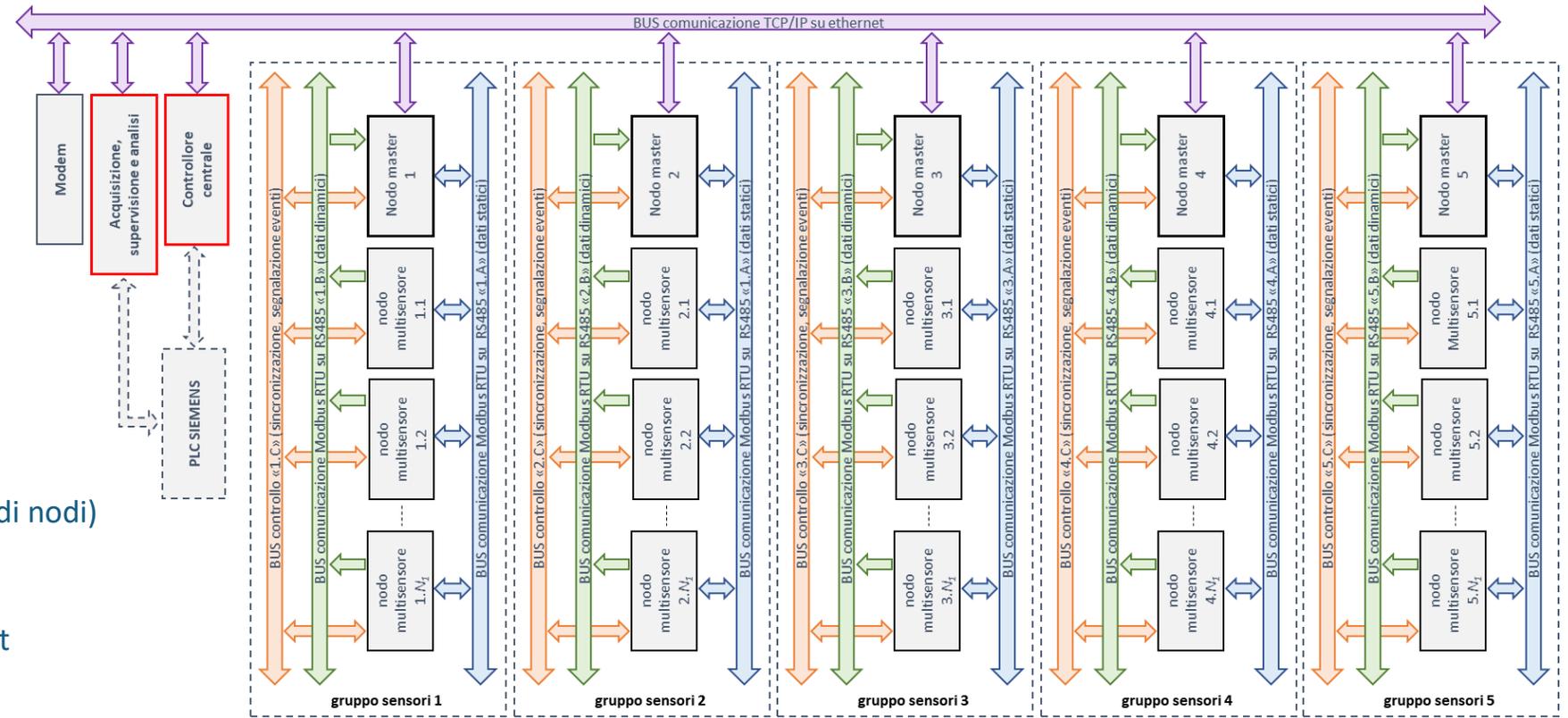


-  Nodo multisensore con doppio inclinometro: a media ed elevata risoluzione (MDSV1 – MDSV26). Installazione solidale alla sovrastuttura.
-  Nodo multisensore con singolo inclinometro a media risoluzione (MSSV1 – MSV50). Installazione solidale alla sovrastuttura.
-  Nodo multisensore con singolo inclinometro a media risoluzione (MSST1 – MSST4). Installazione solidale alla sottostruttura.
-  Controllore di gruppo (C1-C4).
-  Controllore centrale; stazione di acquisizione, supervisione e analisi

Scenario applicativo 2

monitoraggio isolatori sismici di una struttura – architettura del sistema

- 5 sottogruppi
- Nodi multisensoriali
- Nodo master (controllo locale gruppo di nodi)
- Controllore centrale
- Stazione di analisi e supervisione
- Rete di comunicazione RS485, Ethernet
- Modem

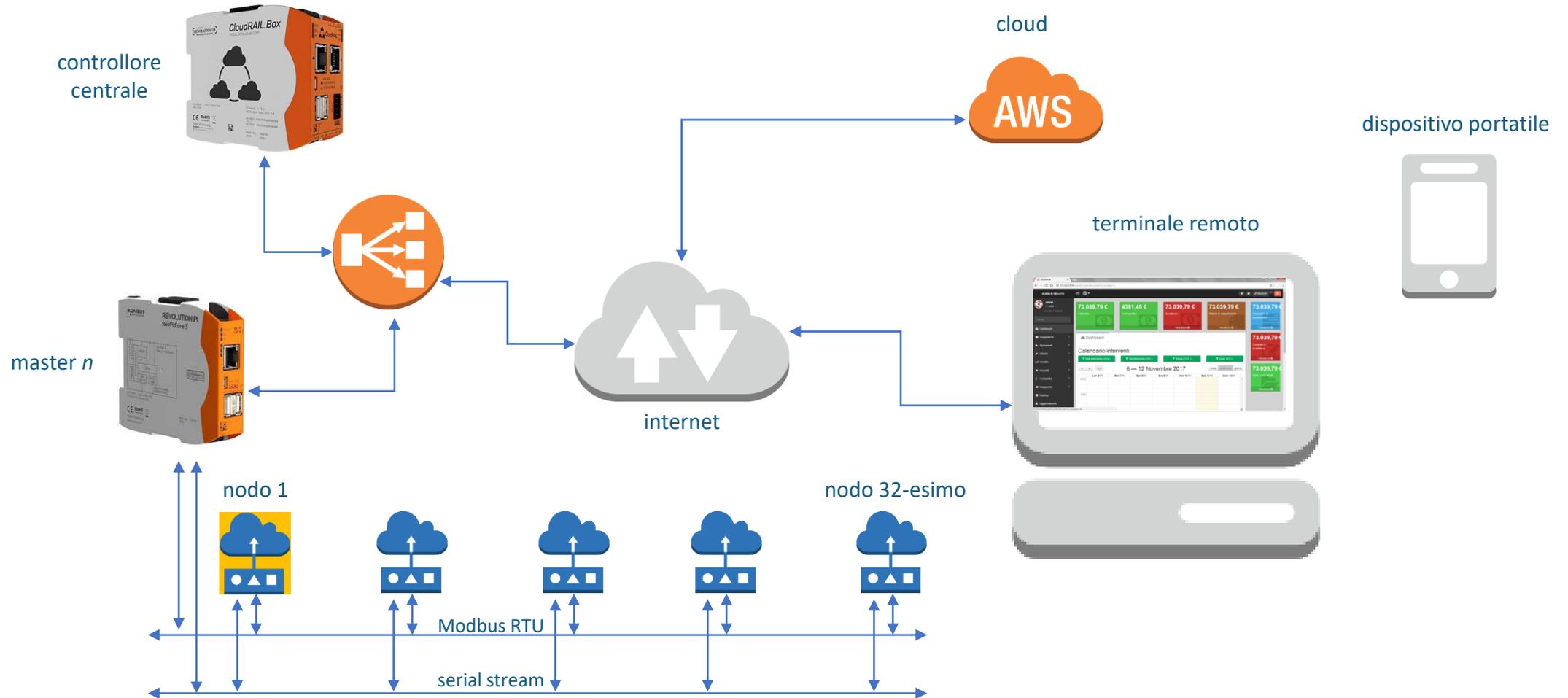


L'architettura è modulare, espandibile e riconfigurabile; il carico computazionale dell'elaborazione e dell'analisi dei segnali dinamici è distribuito sui vari elementi della rete di monitoraggio, in particolare sui singoli nodi di rilevazione, dotati di microcontrollore e processore di segnali (DSP) dedicato.

Questo approccio permette di interconnettere diversi accelerometri (anche ad alte frequenze di campionamento) e di consentire un'efficace analisi real-time, superando le limitazioni di banda della rete di comunicazione e limitando le risorse chieste al sistema di controllo centrale.

Scenario applicativo 2

monitoraggio isolatori sismici di una struttura – architettura del sistema



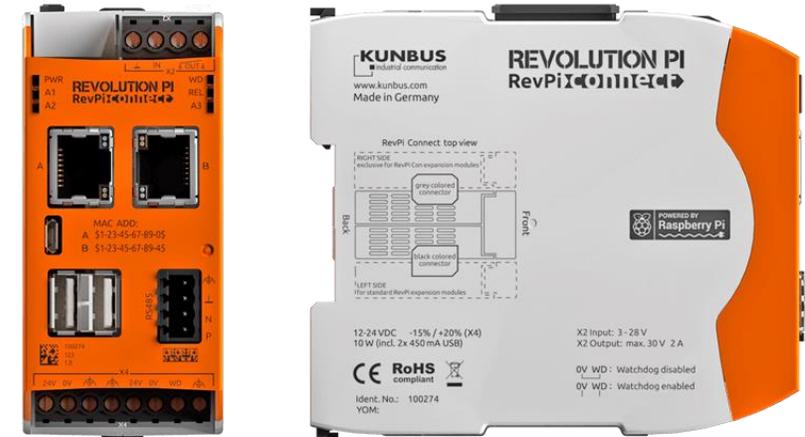
Scenario applicativo 2

monitoraggio isolatori sismici di una struttura – dispositivo di acquisizione e controllo

PLC basati su sistema operativo Raspberry Pi OS, dotati di connettività RS485 Modbus RTU, Ethernet ed USB

possono essere supervisionati e gestiti anche da remoto, tramite web server integrato o duplicazione di terminale.

I controllori vengono installati con una opportuna programmazione, a valle della definizione esatta della topologia della rete di sensori, delle regole di acquisizione e delle procedure di funzionamento (gestione eventi, notifiche, temporizzazione acquisizioni, programmazione soglie, ecc.).



produttore	KUNBUS
modello	Revolution Pi Connect
processore	1.2 GHz quad core
memoria	32 Gbyte eMMC flash
sistema operativo	Raspberry Pi OS
interfacce	2 x RJ45 / 2 x USB 2.0 / 1 x micro HDMI / 1 x micro USB 2.0 socket / 1 x RS485 terminale a vite (4 poli) / 1 x contatto relè programmabile
dimensioni	111 x 45 x 96 mm
temperatura operativa	-40 °C – 55 °C
tensione di alimentazione	12 V DC – 24 V DC