



DATALOGGER PROGRAMMING AND SENSORS CONNECTION ADVANCED COURSE

Modulo 2 - CRBasic editor (teoria e pratica)

- Michele Mattioni, Simone Sabbatini,
Tiziano Sorgi

IR0000032 – ITINERIS, Italian Integrated Environmental Research Infrastructures System

(D.D. n. 130/2022 - CUP B53C22002150006) Funded by EU - Next Generation EU PNRR-
Mission 4 "Education and Research" - Component 2: "From research to business" - Investment
3.1: "Fund for the realisation of an integrated system of research and innovation infrastructures"



Panoramica delle possibilità di collegamento del CR1000X

- 🌐 Il CR1000X è un datalogger di fascia alta progettato per applicazioni ambientali, industriali e scientifiche che richiedono elevata affidabilità, precisione di misura e flessibilità di comunicazione. Una delle sue caratteristiche principali è la versatilità nei collegamenti: può interfacciarsi con un'ampia gamma di sensori e dispositivi grazie alla ricchezza di canali analogici, digitali e seriali, oltre al supporto per protocolli standardizzati come SDI-12, Modbus, RS-232, RS-485 e persino Ethernet e USB.
- 🌐 Ingressi analogici:
Il CR1000X dispone di diversi canali analogici configurabili che possono essere utilizzati sia in modalità single-end (cioè riferiti a massa) sia in modalità differenziale (cioè tra due ingressi). Questo permette il collegamento di: sensori con uscita in tensione o corrente, sensori meteorologici professionali, estensimetri, celle di carico, sonde di temperatura con uscita analogica (es. termistori). La configurabilità differenziale/single-end consente di ottimizzare il numero di canali utilizzabili in base al tipo di misura richiesta.

Panoramica delle possibilità di collegamento del CR1000X


Ingressi digitali e contatori:


Il datalogger è dotato anche di porte digitali multifunzione, che possono essere configurate per:

- Conteggio impulsi (es. pluviometri a bascula)
- Lettura di frequenza (es. anemometri a frequenza variabile)
- Misure temporizzate
- Comunicazioni digitali sincrone, PWM, SDM (Synchronous Device for Measurement)

 Queste porte permettono anche di attivare/disattivare alimentazioni per sensori o dispositivi esterni.

Panoramica delle possibilità di collegamento del CR1000X

 Letture di resistenza e RTD (Resistance Temperature Detector, detti comunemente termistori):
Il CR1000X è compatibile con sensori di temperatura PT100, PT107, RTD a 2, 3 o 4 fili. Questi richiedono l'uso combinato di canali analogici e digitali per la compensazione del filo e la generazione di corrente costante.

 Porte seriali RS-232, RS-485, UART:

Il datalogger è dotato di porte COM configurabili, che possono funzionare in modalità:

- RS-232: per sensori o dispositivi singoli (comunicazione punto-punto)
- RS-485: per bus multipunto (sensori Modbus, sensori industriali)
- TTL/UART: per moduli interni o comunicazione con dispositivi custom

 Queste porte permettono di interrogare direttamente sensori smart, datalogger secondari o modem.

Panoramica delle possibilità di collegamento del CR1000X

Porta SDI-12:

Il CR1000X include nativamente più porte SDI-12, che consente il collegamento a sensori digitali multipli su un solo cavo a tre fili (alimentazione, massa, dati). Questo protocollo è ampiamente usato in ambito ambientale per la sua semplicità e bassa richiesta di potenza.

Comunicazioni avanzate:

Oltre ai canali fisici, il CR1000X dispone di:

- Porta Ethernet: per invio dati via FTP, email, MQTT, Modbus TCP, HTTP
- Porta USB: per configurazione, scarico dati o connessione a dispositivi mobili
- Slot microSD: per espandere la memoria di archiviazione

Compatibilità con moduli radio, WiFi, 4G, satellitari tramite moduli esterni

Panoramica delle possibilità di collegamento del CR1000X


Uscite di controllo e alimentazione

Le porte digitali possono essere utilizzate anche per:

- Attivare relè, pompe, ventole
- Alimentare sensori in modo temporizzato
- Produrre segnali logici o PWM (Pulse Width Modulation).

In sintesi, il CR1000X può collegarsi a:

- Sensori analogici (tensione, corrente, resistivi, termistori, RTD)
- Sensori digitali (SDI-12, Modbus, seriali RS-232/485)
- Strumentazione meteorologica, agricola, industriale
- Dispositivi di comunicazione, controllo, automazione

 Per ognuno di questi collegamenti esistono set di istruzioni ottimizzate per interfacciarsi con la relativa strumentazione.

Lecture analogiche – Single-End vs Differenziale

🌐 Single-end (VoltSE):

Il collegamento single-end misura la tensione tra un ingresso analogico e la massa comune (GND). È semplice da cablare e consente di collegare più sensori, ma è più soggetto a disturbi elettrici, specialmente su cavi lunghi o in ambienti rumorosi.

🌐 VoltSE(Dest, Reps, Range, SEChan, MeasOff, SettlingTime, f_{N1} , Mult, Offset)

- **Dest** = variabile di destinazione su cui verrà memorizzato il valore letto
- **Reps** = ripetizioni (se Dest è un array di 5 elementi e ci sono 5 sensori collegati su canali adiacenti, basta impostare il primo dei canali e mettere Reps = 5)
- **Range** = range di tensione su cui il sensore opera
- **SEChan** = numero del canale SE su cui il sensore è collegato
- **MeasOff** = nel caso di segnali deboli e/o rumorosi, la massa potrebbe non essere perfettamente a 0, se MeasOff = 0 viene eseguita una normale lettura SE, se 1 vengono eseguite 2 letture, la prima mettendo il canale SE a terra che produrrà un valore di offset, la seconda normale a cui viene sottratto l'offset.
- **SettlingTime** = Tempo di assestamento del segnale dopo l'impostazione di una misurazione e prima di effettuare la misurazione. Il range va da 20 microsecondi a 600 ms
- **f_{N1}** = Determina la frequenza più bassa che verrà eliminata o filtrata. Normalmente vengono usate le frequenze della rete elettrica, quindi 50 o 60 Hz, ma questo produce letture lente. I valori si possono aumentare, possibilmente come multipli di 50/60, fino a 15000. Più sono alte le frequenze, più le letture sono veloci ma meno immuni dai disturbi dovuti dalla rete elettrica
- **Mult e Offset** = moltiplicatore ed offset per convertire la lettura in Volts in un valore nell'unità di misura dello strumento. Se un sensore di temperatura ha un range da 0 a 1V a cui corrispondono dei valori di temperatura da -40 a 60 gradi, il moltiplicatore è 0.1 mentre l'offset è 40.

Lecture analogiche – Single-End vs Differenziale

🌐 Differenziale (VoltDiff):

Il collegamento differenziale misura la tensione tra due terminali dedicati (High e Low). Offre maggiore precisione e immunità al rumore, ed è raccomandato per segnali analogici deboli o distanze elevate.

🌐 VoltDiff(Dest, Reps, Range, DiffChan, RevDiff, SettlingTime, f_{N1} , Mult, Offset)

- **Dest** = variabile di destinazione su cui verrà memorizzato il valore letto
- **Reps** = ripetizioni (se Dest è un array di 5 elementi e ci sono 5 sensori collegati su canali adiacenti, basta impostare il primo dei canali e mettere Reps = 5)
- **Range** = range di tensione su cui il sensore opera
- **DiffChan** = numero del canale Differenziale su cui il sensore è collegato [DIFF 1 → SE1 (H) + SE2 (L)]
- **RevDiff** = nel caso di segnali deboli e/o rumorosi, la massa potrebbe non essere perfettamente a 0, se MeasOff = Se messo ad 1 viene immesso un valore costante per determinare se gli ingressi sono invertiti e poi viene eseguita una seconda misurazione. Se è 0 viene eseguita una normale lettura di Differenziale
- **SettlingTime** = Tempo di assestamento del segnale dopo l'impostazione di una misurazione e prima di effettuare la misurazione. Il range va da 20 microsecondi a 600 ms
- **f_{N1}** = Determina la frequenza più bassa che verrà eliminata o filtrata. Normalmente vengono usate le frequenze della rete elettrica, quindi 50 o 60 Hz, ma questo produce letture lente. I valori si possono aumentare, possibilmente come multipli di 50/60, fino a 15000. Più sono alte le frequenze, più le letture sono veloci ma meno immuni dai disturbi dovuti dalla rete elettrica
- **Mult e Offset** = moltiplicatore ed offset per convertire la lettura in Volts in un valore nell'unità di misura dello strumento. Se un sensore di temperatura ha un range da 0 a 1V a cui corrispondono dei valori di temperatura da -40 a 60 gradi, il moltiplicatore è 0.1 mentre l'offset è 40.

Sensori a corrente, come leggerli tramite un ingresso SE

- Alcuni sensori ambientali o industriali forniscono il segnale di misura non in tensione, ma in corrente, tipicamente nella forma di un segnale analogico 4–20 mA. Questo tipo di uscita è molto comune in ambienti professionali, perché:
 - è più immune ai disturbi elettromagnetici;
 - è insensibile alla caduta di tensione su lunghe distanze
 - permette di rilevare guasti (es. un segnale a 0 mA indica disconnessione)
- Tuttavia, i datalogger come il CR1000X leggono naturalmente tensioni, non correnti. Per poter interpretare un segnale in corrente, è necessario convertirlo in tensione, e ciò si fa molto semplicemente inserendo una resistenza di carico (shunt) tra l'ingresso analogico (SE) e GND.
- Secondo la legge di Ohm ($V = I \times R$ dove V è la tensione, I la corrente e R la resistenza), se il sensore fornisce un segnale con un range 4–20 mA, e colleghiamo una resistenza da 250 ohm, otteniamo:
 - per correnti min da 4 mA $\rightarrow V = 0.004 \times 250 = 1.0$ V
 - per correnti max da 20 mA $\rightarrow V = 0.020 \times 250 = 5.0$ V
- Quindi il datalogger vedrà un segnale 0–5 V proporzionale alla corrente, che può essere letto facilmente con un ingresso single-ended (SE) usando VoltSE.

Lecture seriali – RS-232 vs RS-485

- 🌐 Le letture seriali prevedono una configurazione all'inizio del programma principale, subito dopo la BeginProg, tramite il comando:
 - SerialOpen(ComPort, BaudRate, Format, TXDelay, BufferSize, CommsMode)**
 - **ComPort** = porta COM interessata
 - **BaudRate** = velocità della seriale
 - **Format** = viene utilizzato per specificare il tipo di rilevamento degli errori da utilizzare per lo scambio di dati. Al valore 1 corrisponde 'Logic 1 low; Odd parity, one stop bit, 8 data bits'
 - **TXDelay** = Specifica la quantità di tempo di ritardo, in microsecondi, prima di emettere stringhe
 - **BufferSize** = Specifica il numero di byte allocati per l'input sulla ComPort
 - **CommsMode** = specifica la configurazione della porta di controllo del datalogger utilizzata da questa istruzione

- 🌐 RS-232 Comunicazione punto-punto, solo tra due dispositivi. È molto usata per strumenti commerciali (es. sensori multiparametrici) ma ha limitazioni di distanza (tipicamente <15 m). Ci sono diverse istruzioni adatte per la lettura della seriale, la più usata è la seguente:
 - SerialInRecord(COMPort, Dest, BeginWord, NBytes, EndWord, NBytesReturned, SerialInRecOption)**
 - **COMPort** = porta COM interessata
 - **Dest** = variabile stringa che conterrà le informazioni lette dallo strumento
 - **BeginWord** = Una parola di due byte che indica l'inizio di un record
 - **Nbytes** = Se NBytes è uguale o inferiore a 0, i byte vengono letti tra BeginWord ed EndWord. Se BeginWord non viene utilizzato, questo parametro indica il numero di byte da memorizzare prima di EndWord
 - **EndWord** = Una parola di due byte che indica la fine di un record
 - **NBytesReturned** = Variabile in cui viene memorizzato il numero di byte letti dall'istruzione. Se il numero di byte ricevuti è troppo grande per essere contenuto in Dest, questo parametro restituirà un valore negativo
 - **SerialInRecOption** = Determina quale record del buffer seriale viene memorizzato in Dest e se il datalogger carica un valore NAN chiuso.

Lecture seriali – RS-232 vs RS-485 e letture digitali

🌐 RS-485 Comunicazione multidrop, può collegare più dispositivi sulla stessa linea. Offre maggiore distanza e immunità al rumore, ma richiede indirizzamento e gestione del bus. Come per la RS232 la lettura ha bisogno di una inizializzazione del comando dopo il BeginProg e prima della Scan, tramite il comando SerialOpen, il comando è identico alla RS232.

Anche in questo caso il comando più usato è la SerialINRecord e si usa nello stesso identico modo della RS232.

🌐 Letture digitali capacitive come il CS616:

Il sensore CS616/CS625 misura contenuto idrico del suolo con impulsi riflessi. Usa ingressi digitali ad alta velocità. L'istruzione usata è:

CS616(Dest, Reps, CS616Chan, CS616Port, MeasPerPort, Mult, Offset)

- **Dest** = variabile che conterrà il valore letto dallo strumento
 - **Reps** = ripetizioni nel caso di più sensori collegati in successione
 - **CS616Chan** = numero del canale SE da usare per la lettura
 - **CS616Port** = numero del canale digitale (da C1 a C8 sul CR1000X) da usare per la lettura
 - **MeasPerPort** = Numero di terminali di controllo da utilizzare per controllare i sensori
- CS616 nel caso Reps è impostato su 4
- **Mult, Offset** = moltiplicatore ed offset per convertire la lettura in Volts in un valore nell'unità di misura dello strumento.

Lecture di PT100 / PT107

🌐 Sensori di temperatura a resistenza (RTD):

Richiedono bridge a 4 fili o configurazioni specifiche. I datalogger Campbell offrono supporto diretto, per esempio per le PT107 esiste l'apposita istruzione:

Therm107 (Dest, Reps, SEChan, ExChan, SettlingTime, f_{N1} , Mult, Offset)

- **Dest, Reps, SettlingTime, f_{N1} , Mult, Offset** = stesse delle precedenti istruzioni
- **SEChan** = numero del canale SE usato per il collegamento al sensore
- **ExChan** = numero del canale di eccitazione in tensione (da VX1 a VX4 su un CR1000X)

🌐 Nel caso di altri termistori, come le PT100, si usa l'istruzione PRT preceduta da una BrHalf per la lettura del valore della resistenza. La sintassi delle istruzioni sono:

BrHalf (Dest, Reps, Range, SEChan, ExChan, MeasPEx, ExmV, RevEx, SettlingTime, f_{N1} , Mult, Offset)

- **SEChan, ExChan** = ingresso SE e VX usati per il collegamento
- **MeasPEx** = Numero di sensori da eccitare con lo stesso terminale di eccitazione prima di passare automaticamente al terminale successivo.
- **ExmV** = range della tensione di eccitazione, i valori ammessi sono ± 2500 mV.
- **RevEx** = Falso (o 0) = Non invertire l'eccitazione; Vero (o 1) = Invertire l'eccitazione ed effettuare una seconda misurazione

PRT (Dest, Reps, Source, Mult, Offset)

- **Dest, Reps, Mult, Offset** = stesse delle precedenti istruzioni
- **Source** = valore della resistenza letta tramite l'istruzione BrHalf

🌐 Esiste un'istruzione più avanzata chiamata PRTCalc, che permette di calcolare la temperatura da un valore di resistenza usando la curva del tipo specifico di RTD. È stata introdotta per fornire maggiore precisione e per semplificare la conversione standardizzata secondo le specifiche IEC/DIN. Differisce per un parametro in più dopo 'Source' chiamata 'PRTType'.

Lecture digitali a frequenza e conteggio

🌐 Letture digitali in frequenza:

Alcuni anemometri generano un segnale a frequenza proporzionale alla velocità del vento. Si usa un ingresso digitale e si converte la frequenza in m/s. L'istruzione in questione è la seguente:

PulseCount (Dest, Reps, PChan, PConfig, POption, Mult, Offset)

- Dest, Reps, Mult, Offset = solite
- PChan = canale digitale a scelta tra P1, P2 e tra C1...C8
- Pconfig = codice che specifica come deve essere configurato il canale a impulsi.
- Poption = codice che determina se il risultato grezzo (moltiplicatore = 1, offset = 0) viene restituito in conteggi o in frequenza.

🌐 Nel caso dell'anemometro basterà settare la Poption = 1, mentre se vogliamo usare un sensore come il pluviometro a bascula, dove ad ogni oscillazione delle coppette interne corrisponde una lettura in mm di pioggia e dove per sapere il valore di pioggia totale caduta bisogna contare le oscillazioni, si deve usare la stessa identica istruzione ma con la Poption = 0.

Lecture in SDI-12

🌐 Protocollo seriale digitale per sensori ambientali. Basato su un bus a tre fili (dati, alimentazione, GND), supporta più sensori su un'unica linea. Questi sensori vengono letti tramite l'istruzione:

`SDI12Recorder(Dest, SDIPort, SDIAddress, "SDICommand", Multiplier, Offset)`

- `SDIPort` = porta dove è connesso il sensore, a scelta tra C1-C3-C5-C7

- `SDIAddress` = indirizzo del sensore, più sensori possono essere connessi alla medesima porta digitale purchè ognuno abbia il suo indirizzo. Quest'ultimo può essere associato al sensore con un comando SDI-12 che può essere inviato al sensore tramite il Terminal Emulator del programma PC400 (Transparent Mode)

- `"SDICommand"` = comando SDI-12 da inserire tra virgolette. Di solito si usa il valore "M".

Lecture in SDI-12 – Dettagli sul protocollo

🌐 I comandi SDI-12 hanno tre componenti:

Indirizzo del sensore (a)

- un singolo carattere e il primo carattere del comando. Utilizzare l'indirizzo predefinito zero (0) a meno che più sensori non siano collegati alla stessa porta.

Corpo del comando

- una lettera maiuscola (il "comando"), eventualmente seguita da uno o più qualificatori alfanumerici.






Terminazione del comando (!)

- un punto esclamativo.

🌐 Campbell Scientific sensor SDI-12 command and response set

🌐 Name	Command	Response1
Acknowledge Active	a!	a<CR><LF>
Send Identification	al!	alccccccmmmmmm<CR><LF>
Start Verification	aV!	atttn <CR><LF>
Address Query	?!	a<CR><LF>
Change Address	aAb!	b<CR><LF>
Start Measurement	aM!aM1!...aM9!	atttn<CR><LF>
Send Data	aD0!...aD9!	a<values><CR><LF> ora<values><CRC><CR><LF>

Abilitazione alimentazione a 12V (SW12)

- 
 Cos'è SW12 in CRBasic?
 L'istruzione SW12 (Switch12) viene usata per attivare o disattivare le linee di alimentazione commutate da software dei datalogger Campbell Scientific.
- 
 Molti modelli, come CR300, CR1000X, CR6, dispongono di uno o più terminali "SW12" (2 nel caso del CR1000X), che forniscono 12 V quando attivati da programma e 0 V quando disattivati.
- 
 Questi terminali sono pensati per alimentare temporaneamente i sensori, solo nel momento in cui vengono letti, risparmiando energia — una risorsa cruciale nei sistemi a batteria o solare.
- 
 L'istruzione ha la seguente sintassi:
SW12(SWChan, State)
 dove 'SWChan' è il canale Switch12 da abilitare (nel CR1000X ci sono due canali identificati come 'SW12-1' e 'SW12-2'). 'State' invece sarà lo stato di uscita dell'alimentazione, se 'State' = True (o 1) il terminale SW12 fornisce 12 V, se 'State' = False (o 0) il terminale viene spento (0 V)
- 
 La logica è molto semplice: si può pensare a SW12 come a un interruttore software per accendere/spegnere una linea di alimentazione.

Multiplexer AM16/32B

- 🌐 I datalogger Campbell Scientific sono strumenti estremamente flessibili e precisi, ma ogni modello ha un numero fisso di canali fisici disponibili per collegare sensori. In molte applicazioni reali — come il monitoraggio agricolo, ambientale, idrologico o industriale — il numero di sensori richiesti supera i canali disponibili, oppure c'è la necessità di collegare più sensori dello stesso tipo (es. decine di termocoppie, PT100 o tensiometri) in modo economico e ordinato.
- 🌐 Qui entra in gioco il multiplexer, come l'AM16/32B, che agisce come uno switch elettronico controllato dal datalogger, in grado di selezionare ciclicamente più sensori collegandoli uno alla volta agli ingressi condivisi del datalogger.
- 🌐 I principali vantaggi dell'uso di un MUX sono:
 - espandere il numero di sensori collegabili (fino a 32 canali analogici per modulo)
 - ridurre i costi: si usano gli stessi canali del datalogger per leggere più sensori
 - ottimizzare il cablaggio: ordine, modularità, e manutenzione più semplice
 - gestione intelligente: è il datalogger stesso che controlla il MUX e seleziona il canale da leggere a ogni scansione
- 🌐 In pratica, il multiplexer consente di costruire sistemi scalabili, adattabili a siti con molteplici punti di misura, senza dover cambiare datalogger o passare a modelli molto più costosi.

Multiplexer AM16/32B

🌐 Tabella comparativa dei canali dei datalogger Campbell

Datalogger	Canali analogici	Canali digitali	Note principali
CR300	3 Diff / 6 SE	2 (U) + 3 (C)	Economico e compatto, adatto per poche misure
CR6	12 (univ.: SE/Diff/SDI-12)	8 (U) + 4 (C)	Estremamente flessibile, modulare, supporta anche bridge, RTD
CR1000X	8 Diff / 16 SE	8 (U) + 4 (C)	Prestazioni elevate, supporta sensori analogici, digitali, bridge
CR3000*	14 Diff / 28 SE	8 (U) + 4 (C)	Fuori produzione, ma con molti canali; ancora diffuso in rete

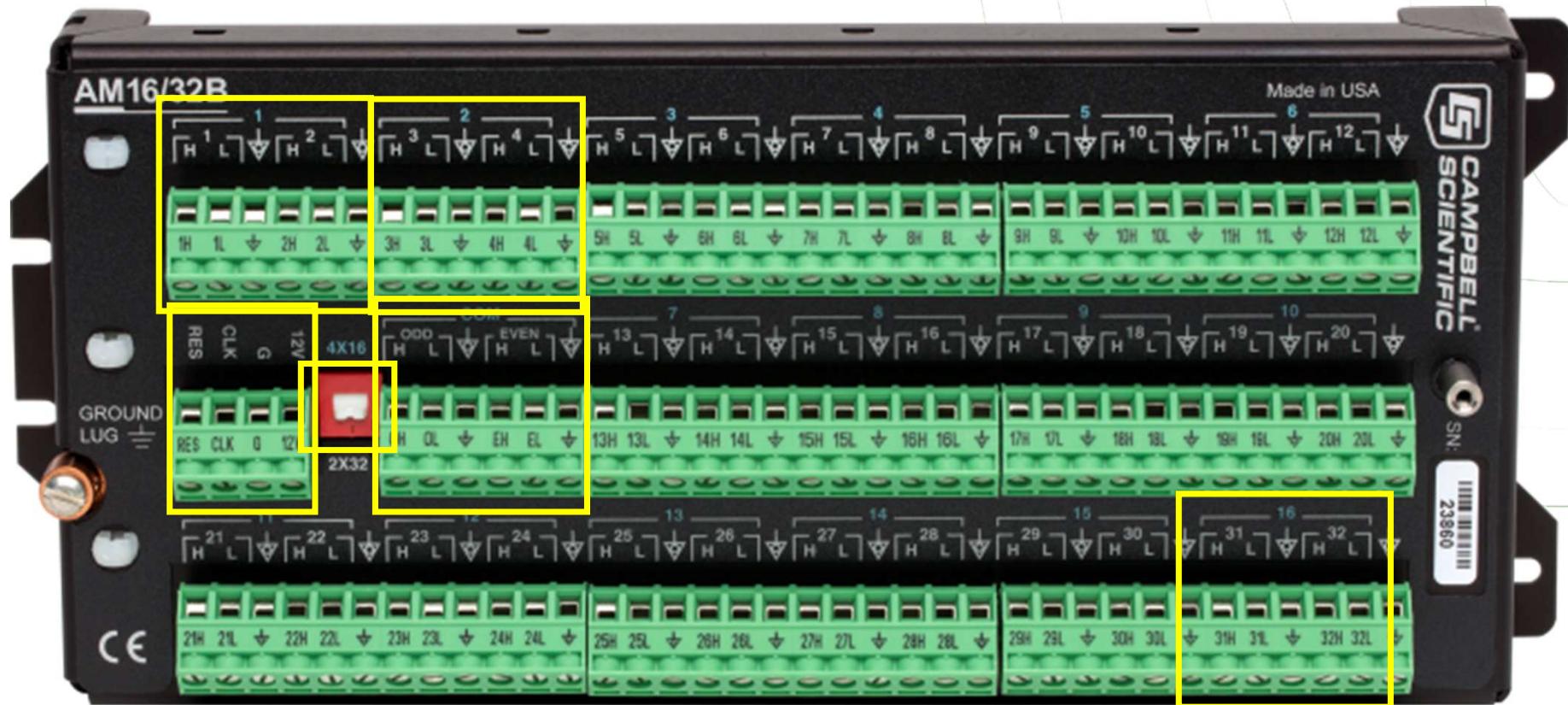
🌐 In sintesi:

Un AM16/32B consente di leggere fino a 32 sensori analogici (o 16 differenziali) usando solo 2 canali del datalogger e un paio di linee di controllo.

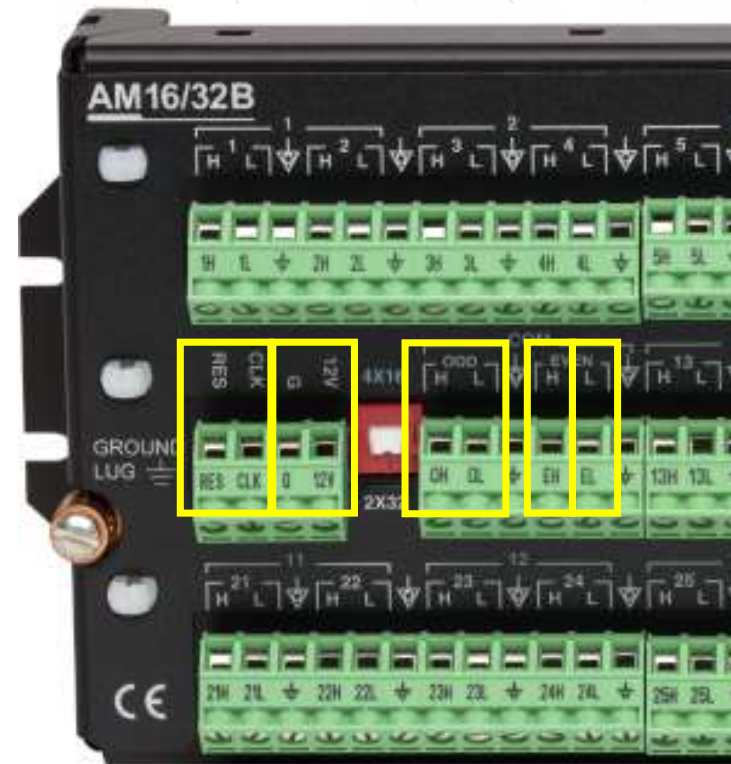
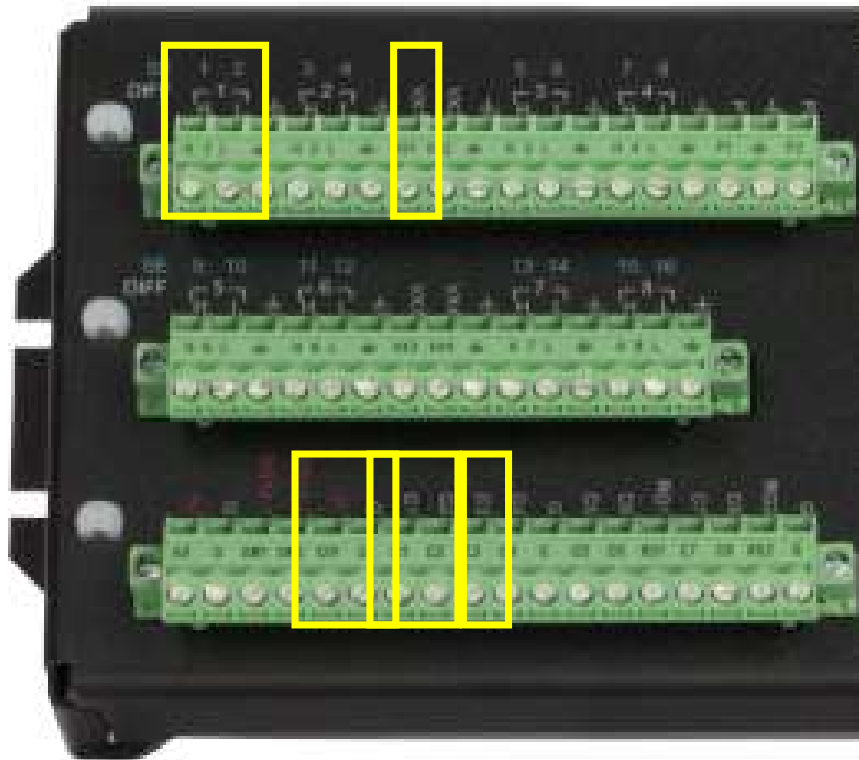
È la scelta ideale quando hai molti sensori simili da leggere con sequenza automatica, e non vuoi (o non puoi) cambiare datalogger.

La gestione è completamente integrata in CRBasic tramite istruzioni come Scan(), SW12, PortSet e PulsePort

Multiplexer AM16/32B



Multiplexer AM16/32B – Collegamento con CR1000X



Multiplexer AM16/32B – Esempio di programmazione



'ABILITAZIONE MUX

PortSet(C1,1) 'Il canale digitale C1 del CR1000X è collegato all'ingresso 'RES' del MUX e serve per abilitare (1) o disabilitare (0) il MUX
Delay(0,150,msec) 'ritardo di 150 msec prima di leggere l'istruzione successiva

'LETTURA GRUPPI

'Lettura Gruppo 01

PulsePort(C2,10000) 'Il canale digitale C2 del CR1000X è collegato all'ingresso 'CLK' del MUX e serve per cambiare gruppo ad ogni impulso
Delay(0,100,msec) 'ritardo di 100 msec prima di leggere l'istruzione successiva

VoltDiff(Sensore1,1,mv200,1,0,0,50,1,0)

'Lettura Gruppo 02

PulsePort(C2,10000) 'Il canale digitale C2 del CR1000X è collegato all'ingresso 'CLK' del MUX e serve per cambiare gruppo ad ogni impulso
Delay(0,100,msec) 'ritardo di 100 msec prima di leggere l'istruzione successiva

VoltDiff(Sensore2,1,mv200,1,0,0,50,1,0)

'Lettura Gruppo 03

PulsePort(C2,10000) 'Il canale digitale C2 del CR1000X è collegato all'ingresso 'CLK' del MUX e serve per cambiare gruppo ad ogni impulso
Delay(0,100,msec) 'ritardo di 100 msec prima di leggere l'istruzione successiva

VoltDiff(Sensore3,1,mv200,1,0,0,50,1,0)

'DISABILITAZIONE MUX

PortSet(C1,0) 'Il canale digitale C1 del CR1000X è collegato all'ingresso 'RES' del MUX e serve per abilitare (1) o disabilitare (0) il MUX



THANKS!

IR0000032 – ITINERIS, Italian Integrated Environmental Research Infrastructures System
(D.D. n. 130/2022 - CUP B53C22002150006) Funded by EU - Next Generation EU PNRR-
Mission 4 "Education and Research" - Component 2: "From research to business" - Investment
3.1: "Fund for the realisation of an integrated system of research and innovation infrastructures"

