

Semplici sistemi a confronto

Paolo Ferrari, Alessandra Flammini, Francesco Venturini (*)

Valutazione parallela delle prestazioni di due semplici sistemi: uno con Profibus-DP V2 e l'altro con protocollo Profinet IO

Le architetture isocrone odierne basate su bus di campo standard sono sufficienti per gli obiettivi attuali di controllo assi o automazione spinta (per esempio, confezionamento),

ma potrebbero non esserlo per gli impieghi futuri. Come conseguenza, tutti i produttori di sistemi di comunicazione industriali stanno studiando soluzioni innovative capaci di trasportare più informazioni in meno tempo.

Non è un segreto che la tecnologia d'elezione per queste implementazioni è Ethernet che, grazie all'esperienza maturata nel settore dell'Information Technology,

può vantare i rapporti 'prestazioni/costo' e 'velocità di apprendimento/costo' più favorevoli.

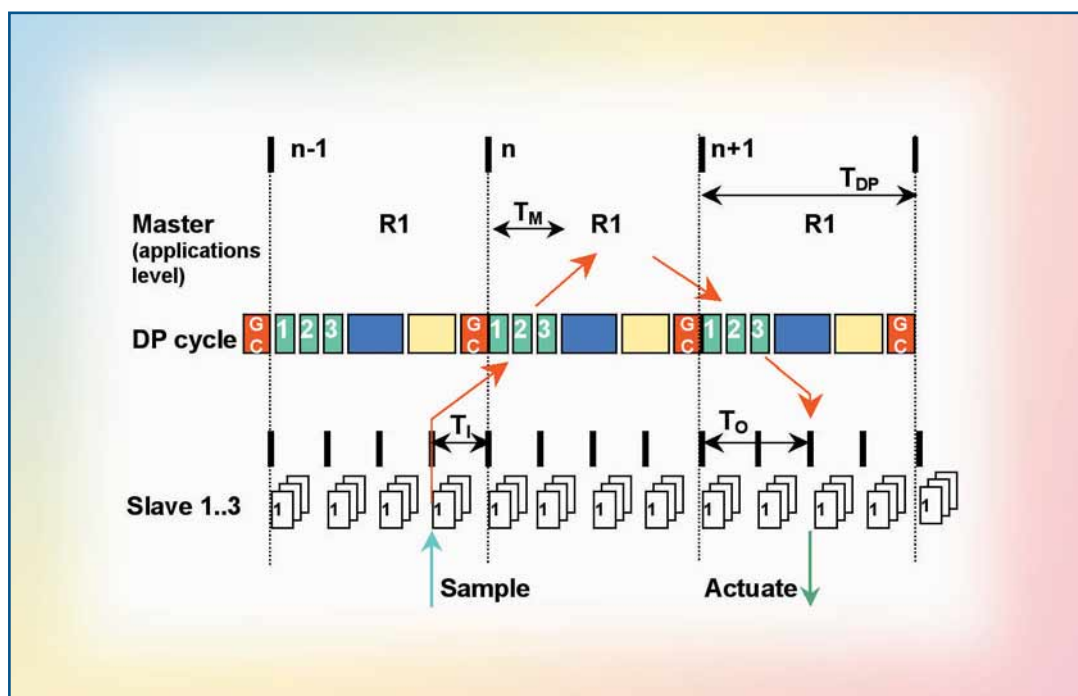
Storicamente, l'impiego di Ethernet come bus di campo era penalizzato dal non-determinismo, che non consentiva l'i-

socronia, e dalla bassa efficienza (byte utili/byte trasmessi). Oggi, però, la diffusa presenza di switch, che inoltrano il messaggio solo al destinatario, e l'aumento della velocità di trasmissione (10 MHz, 100 MHz, 1 GHz) riducono notevolmente la probabilità di collisione, per cui Ethernet diventa competitiva rispetto ai bus di campo.

Inoltre, con Ethernet, l'integrazione totale di un impianto è semplificata, visto che essa offre una banda di trasmissione elevata e l'apertura verso i comuni protocolli basati su TCP/IP (HTTP, OPC, SQL).

Naturalmente la bontà di una nuova tecnologia si giudica comparandone le prestazioni con le tecnologie già affermate sul mercato. Per questo motivo, presso il Centro di Competenza Profibus italiano (Proflab), gestito da INN.TEC e dal dipartimento di Elettronica per l'Automazione dell'Università di Brescia, è stato allestito un esperimento per la valutazione parallela delle prestazioni di due semplici sistemi (identici), uno automatizzato con il protocollo Profibus-DP V2 e l'altro con il protocollo Profinet IO RT Class 1 basato su

Ethernet.



Profibus-DP V2

Profibus-DP è uno dei bus di campo più diffusi al mondo.

Sebbene la maggioranza dei dispositivi installati aderisca alle specifiche più datate, chiamate versione 0 o V0, nel tempo Profibus-DP si è evoluto e attualmente sono disponibili le versioni V1 (traffico aciclico) e V2 (isocronia).

Fig.1 - Ciclo sincronizzato in Profibus DPV2. Tempo tra evento e reazione inferiore ai due cicli di bus

Infatti con le versioni V0 e V1 del protocollo non è possibile uno scambio di dati realmente sincronizzato, a causa delle ripetizioni dei telegrammi dovuti alle interferenze o alle funzioni di diagnostica. In Profibus-DP V2 sono state dunque aggiunte le funzionalità di comunicazione isocrona, la sincronizzazione dei clock e la possibilità di comunicazione tra slave utilizzando messaggi broadcast secondo una logica publisher-subscriber. Il modo isocrono di un sistema Profibus-DP implica l'utilizzo di un ciclo di comunicazione costante e prevede la sincronizzazione delle applicazioni che girano nel master e negli slave al ciclo di comunicazione (figura 1). Il protocollo Profibus-DP V2 usa il telegramma broadcast 'Global Control' (GC) per delimitare l'inizio del ciclo di comunicazione.

Si fa notare che Profibus-DP usa un collegamento seriale (RS-485) e ogni nodo della rete riceve il telegramma GC in istanti differenti a causa del ritardo di propagazione lungo la linea, ma questo ritardo è comunque abbastanza basso e può essere compensato perché sostanzialmente costante. Sicuramente un fattore molto critico nelle applicazioni distribuite è la deriva tra gli oscillatori locali dei vari slave; in Profibus-DP V2 l'inizio del ciclo DP può essere anche impiegato per agganciare il PLL (Phase-Locked Loop) dell'oscillatore locale di riferimento contenuto nello slave.

La parte di scambio dati ciclico (DEX) propria di Profibus-DP V0 è eseguita subito dopo il telegramma di GC, seguono poi i messaggi aciclici e i servizi di supporto (telegramma per la ricerca di nuove stazioni attive (GAP), telegramma scambio Token, ecc.). Alla fine trova posto una finestra temporale parametrizzabile riservata (RES) utilizzata per raggiungere una durata costante del ciclo di bus.

Sempre in figura 1 è infine illustrata la sincronizzazione tra le applicazioni. L'algoritmo di controllo in esecuzione nel master è rappresentato da R1. Sugli slave 1, 2 e 3 girano rispettivamente le applicazioni S1, S2 e S3.

Il ciclo dell'applicazione del master, dopo il completamento della fase di scambio dati, è ritardato del tempo T_M , così il master può analizzare nel ciclo #n i dati campionati nel ciclo precedente #(n-1).

Se l'elaborazione del master termina prima dell'inizio del prossimo ciclo di bus, il risultato può essere spedito prontamente allo slave nel ciclo di bus #(n+1).

Osserviamo quindi che la sincronizzazione, oltre ad assicurare una durata costante del ritardo di controllo (reazione all'evento = $T_{DP} + T_I + T_O$), permette una minimizzazione dello stesso.

Profinet IO

Profinet IO definisce tre classi di comunicazioni real-time, che per semplicità possono essere raggruppate in due gruppi principali: la Classe 1 per comunicazioni Real-Time (RT) in sistemi che richiedono cicli nell'ordine delle decine di millisecondi; le Classi 2 e 3 per la comunicazione Isocrona Real-Time (IRT) in sistemi che richiedono cicli nell'ordine del centinaio di microsecondi e variazioni del tempo di ciclo inferiori a 1 us. Profinet IO si appoggia al livello MAC di Ethernet utilizzando l'EtherType riservato 0x8892. La velocità di trasmissione può essere di 100 Mbit/s oppure di 1 Gbit/s.

Con Profinet IO la metodologia di accesso master-slave di Profibus-DP è stata convertita al modello provider-consumer. Si fa notare che per scambiare dati in modo bidirezionale bisogna creare due relazioni, mentre in Profibus lo scambio bidirezionale era di default.

Profinet IO prevede tre tipi di dispositivi: IO-Controller, ossia il dispositivo controllore (PLC); IO-Device, cioè il dispositivo di campo remoto (sensore, attuatore, modulo di IO ecc.), che viene assegnato a un IO-Controller; IO-Supervisor, il dispositivo (PC) con funzioni di configurazione e di diagnostica.

I requisiti critici dal punto di vista delle temporizzazioni riguardano lo scambio dati tra IO-Controller e IO-Device, mentre il traffico generato dal dispositivo IO-Supervisor, pacchetti di configurazione o di diagnostica non necessitano di prestazioni real-time. In Profinet IO Class 1 (RT) i vari dispositivi non sono sincronizzati e operano ciascuno con un proprio tempo di ciclo come mostrato in figura 2.

All'inizio avviene la trasmissione dei dati RT di tipo ciclico, seguiti dai dati RT di tipo aciclico, come gli allarmi. Alla fine viene riservata una porzione di banda alla comunicazione non real-time che può coesistere sulla stessa rete fisica (ad esempio basata su TCP/IP). Nella classe 1 si cerca di raggiungere l'isocronia in modo software, facendo affidamento sulle priorità di Ethernet, con i pacchetti Profinet definiti di priorità 6 e gestiti da switch standard. Profinet IO Class 2 è simile a Class 1 e prevede anche il protocollo UDP per i

dati RT in modo da superare i router ed estendere la rete in modo semplificato. Per ottenere l'isocronia

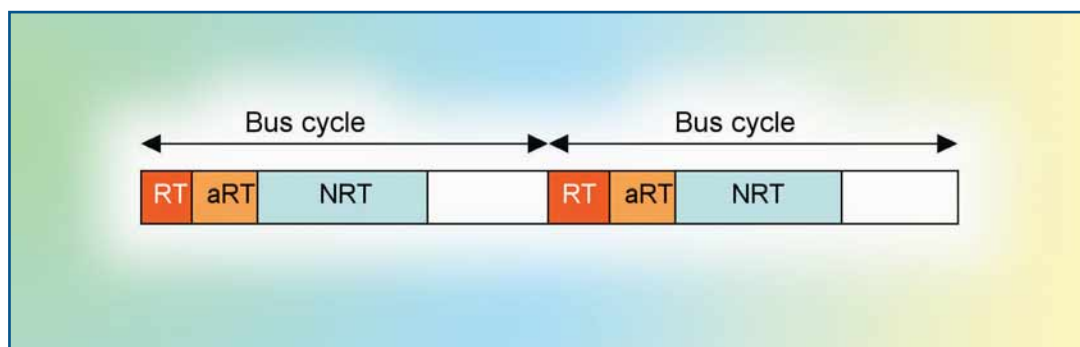


Fig. 2 - Ciclo in Profinet IO Class 1. Comunicazione Real-time (ciclica e aciclica) seguita da comunicazione Non Real-Time

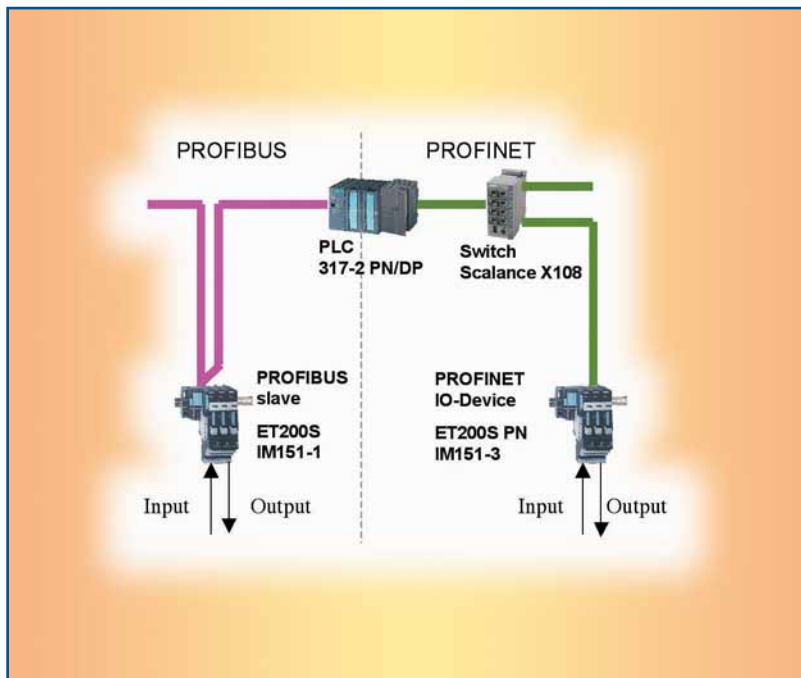


Fig. 3 - Setup sperimentale simmetrico. In Profinet IO è richiesto l'uso di uno switch

Sistema di misura

Al momento della valutazione sperimentale comparativa sul mercato esistevano solo dispositivi Profinet IO di classe 1 e pertanto non completamente isocroni. Come conseguenza, un confronto corretto tra i due protocolli era possibile solo disabilitando le opzioni di sincronizzazione delle applicazioni e del PLL di Profibus-DPV2. Il banco di misura realizzato (figura 3) comprende un singolo PLC che controlla alternativamente un segmento Profibus-DP e un segmento Profinet IO Class 1: sono stati impiegati due slave identici che differiscono solo per il tipo di interfaccia di comunicazione in modo da avere una situazione simmetrica.

piena bisogna ricorrere a Profinet IO Class 3 che utilizza degli switch particolari in grado di riconoscere il traffico real-time. In pratica ogni switch Ethernet compatibile Class 3 viene programmato in fase di configurazione per ripetere la stessa sequenza di operazioni, in questo modo non è più necessario esaminare ogni pacchetto e gestirlo in base all'indirizzo MAC. Per garantire la compatibilità con TCP, gli switch creano una divisione di tempo con due fasi, una dedicata al traffico in tempo reale e l'altra al traffico standard IP. Tutte le operazioni di sincronizzazione tra i nodi della rete sono garantite da un protocollo ispirato alla IEEE1588.

Si ricorda che durante ogni test è attiva una sola interfaccia del PLC, mentre l'altra è disattivata. Inoltre il segmento Ethernet richiede l'utilizzo di uno switch di categoria industriale (tipo 'store&forward'). Per le misure di intervallo di tempo è stato utilizzato un frequenzimetro da laboratorio. Per verificare le caratteristiche del traffico a livello fisico sono stati utilizzati un analizzatore Profibus (ProfiTrace) e uno sniffer Ethernet (Ethereal) basato su PC.

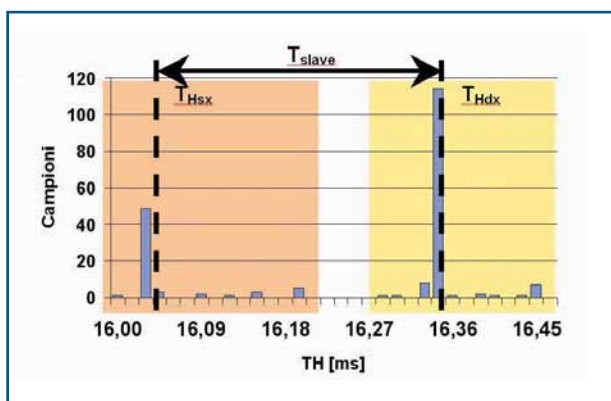
Risultati sperimentali

L'obiettivo della prima prova era determinare la distribuzione della durata del ciclo di bus T_{bus} .

La tabella 1 mostra il valore medio del ciclo di bus (1.000 misure) e la loro deviazione standard, nel caso di tempo di ciclo $T_{bus}=1$ ms, ottenuti dagli analizza-

$T_{bus} = 1$ ms	T_{bus} medio	Std. Dev.	T_{bus} Max	T_{bus} Min
PROFIBUS DP V2	1.000 ms	1 ms	1.002 ms	0.999 ms
PROFINET IO-Controller	1.000 ms	19 ms	1.062 ms	0.870 ms
PROFINET IO-Device	1.001 ms	13 ms	1.184 ms	0.820 ms

Tabella 1 - Durata reale del ciclo di comunicazione a fronte di una configurazione a 1 ms (Profibus-DP @ 12 Mbit/s, Profinet IO @ 100 Mbit/s)



tori di bus. Per la parte Profinet IO sono riportati due valori, infatti esistono due cicli di bus indipendenti (ciclo di bus per la direzione da IO-Controller a IO-device e ciclo di bus in direzione opposta). Profibus-DP V2 ha un comportamento molto regolare mentre Profinet IO Class 1 presenta una distribuzione leggermente più larga giustificata dalla presenza degli switch e dalla gestione prevalentemente software dello stack. Lo scopo della prova successiva era la valutazione del tempo richiesto ad un'informazione (un valore booleano) per circolare attraverso l'intero segmento, in altre parole il

Fig. 4 - Distribuzione dei tempi TH in Profibus-DP V2 nel caso di $T_{bus} = 8$ ms

T_{bus}	PROFIBUS DP V2				
	T_{Hsx} [ms]	σ_{sx} [ms]	T_{Hdx} [ms]	σ_{dx} [ms]	T_{slave} [ms]
1 ms	2.310	-	3.025	-	-
2 ms	3.942	0.001	4.251	0.001	0.309
4 ms	7.968	0.001	8.278	0.001	0.309
8 ms	7.968	0.001	8.278	0.001	0.309
16 ms	32.147	0.008	32.456	0.029	0.308
32 ms	64.052	0.025	64.368	0.031	0.317

Tabella 2 - Tempo TH necessario per reagire ad un evento in Profibus-DP V2. Di T_H è possibile misurare solo le versioni T_{Hsx} e T_{Hdx} quantizzate con passo T_{slave}

Tabella 3 - Tempo TH necessario per reagire ad un evento in Profinet IO Class 1. T_H è concentrato intorno a multipli di T_{bus} . Il valore di T_{slave} è paragonabile ai T_{bus} più bassi

T_{bus}	PROFINET IO Class 1					
	T_{H1} [ms]	σ_{H1} [ms]	T_{H2} [ms]	σ_{H2} [ms]	T_{H3} [ms]	σ_{H3} [ms]
1 ms	2.810	0.182	5.364	0.185	7.840	0.343
2 ms	4.556	0.427	6.626	0.170	8.834	0.182
4 ms	4.196	0.127	8.113	0.327	12.054	0.445
8 ms	8.187	0.714	16.051	0.732	-	-
16 ms	16.159	0.902	32.048	0.029	-	-
32 ms	32.208	0.540	64.017	0.359	-	-

tempo minimo per reagire ad un semplice evento. Il Master (IO-Controller) è stato programmato per leggere l'input remoto dello Slave (IO-Device) e per ritornare il valore negato all'output remoto (Output=NEG(Input)). Dall'altro lato della rete, sull'IO-Device slave, l'ingresso remoto e l'uscita remota sono stati cortocircuitati, creando i presupposti per la continua commutazione dell'uscita. L'onda quadra che viene a generarsi rivela le caratteristiche temporali del sistema; infatti il tempo T_H in cui l'uscita è alta è il tempo necessario per reagire a un evento.

In Profibus-DP V2 se il master completa la comunicazione e l'elaborazione del dato in meno di T_{bus} , ci si aspetta di trovare T_H vicino a $2T_{bus}$.

In realtà il tempo T_H che viene misurato è quantizzato a multipli del tempo di ciclo interno T_{slave} dello slave, visto che è lui a pilotare fisicamente l'uscita. I risultati delle prove per $T_{bus} = 8ms$ sono mostrati nel grafico di figura 4.

Nel grafico sono anche illustrati i parametri considerati: T_{Hsx}

e T_{Hdx} sono i valori medi dei due gruppi di campioni che si ottengono a causa della quantizzazione; σ_{sx} e σ_{dx} sono le deviazioni standard dei due gruppi di campioni; T_{slave} è calcolato come differenza tra T_{Hsx} e T_{Hdx} . Nella tabella 2 sono riassunti i risultati ottenuti impostando T_{bus} a 1, 4, 8, 16, e 32 millisecondi.

In Profinet IO Class 1 lo scambio dati avviene in full duplex con due cicli di bus di uguale durata T_{bus} ma tra loro indipendenti e non sincronizzati. Se lo sfasamento tra i due trasferimenti è superiore al tempo di ciclo interno T_{slave} dello slave e al tempo di elaborazione dei dati nel master, il tempo T_H assume valori nell'intorno di T_{bus} , $2T_{bus}$ o $3T_{bus}$. La distribuzione ottenuta per $T_{bus} = 8ms$ è mostrata in figura 5, mentre in tabella 3 sono riassunti i valori medi e le deviazioni standard dei gruppi di dati per diversi tempi di ciclo.

In questo caso non è infatti possibile distinguere in modo chiaro la quantizzazione sull'uscita data da T_{slave} a causa della variabilità introdotta dall'implementazione software dello stack Profinet IO Class 1.

Conclusioni

Il confronto realizzato mostra che Profibus-DP V2 garantisce oggi prestazioni migliori dal punto di vista del determinismo anche senza attivare l'isocronia più spinta.

Ciò però non deve trarre in inganno perché le potenzialità di Profinet IO non sono state completamente sfruttate: è di questi giorni la notizia del rilascio dei primi prodotti Profinet IO Class 3 dotati di supporto hardware all'isocronia.

Le prestazioni di questi protocolli verranno presto comparate presso il Profilab. ■

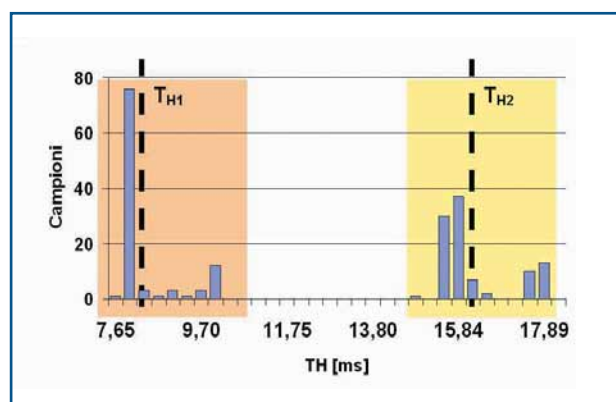


Fig. 5 - Distribuzione dei tempi TH in Profinet IO Class 1 nel caso di $T_{bus} = 8ms$

(*) Università di Brescia - Dipartimento di Elettronica per l'Automazione e Profilab (Centro di Competenza Profibus)