



# ATTENZIONE, RETE A BORDO!

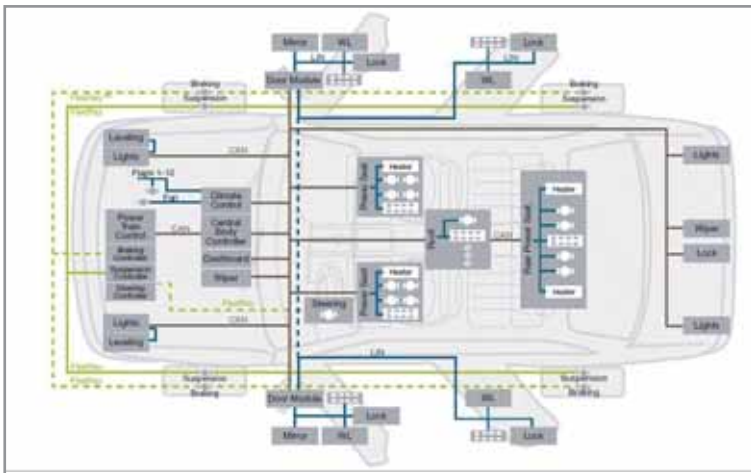
di Massimo Giussani

L'evoluzione nel settore automobilistico è sempre più legata all'introduzione di sistemi elettrici ed elettronici a bordo delle autovetture. I progressi che negli ultimi anni hanno accompagnato la gestione del motore, l'ottimizzazione dei consumi, la sicurezza attiva e passiva, il comfort e l'infotainment di bordo, sono nella stragrande maggioranza dei casi dovuti all'introduzione di nuovo hardware elettronico, o di migliorati algoritmi software. In una moderna autovettura di fascia alta si possono trovare fino a 70 unità elettroniche di controllo (ECU - Electronic Control Unit), che scambiano tra loro migliaia di messaggi, per espletare diverse centinaia di funzioni elettriche ed elettroniche. Al crescere del numero delle applicazioni di

LE CENTINAIA DI FUNZIONI ELETTRICHE ED ELETTRONICHE CHE CONTRADDISTINGUONO LE ODIERNE AUTOVETTURE HANNO PORTATO ALL'INTRODUZIONE DI SVARIATE RETI IVN (IN-VEHICLE NETWORK)

di temperatura, umidità e interferenze elettromagnetiche. In questi contesti, a emergere come soluzione vincente è solitamente la tecnologia più semplice. Sebbene le reti a bordo veicolo offrano una variegata scelta in termini di topologie possibili, tra cui a stella, ad anello, ad albero e miste, ad aver ricevuto la massima diffusione sono le reti a bus per comunicazioni seriali (bi o addirittura monofilari). Il motivo è da ricercarsi nella loro semplicità, nel basso costo d'installazione e cablaggio e nella semplicità di espansione.

Il ricorso a uno o più bus seriali specializzati e a eventuali gateway per le comunicazioni tra sottosistemi permette di realizzare applicazioni complesse, limitando la quantità di cavi e connettori necessari. Topologie più evolute trovano applicazione nell'ambito delle reti multimediali, che richiedono alte velocità e non hanno come priorità l'integrità dai guasti. Le comunicazioni seriali via bus sono invece ciò che caratterizza i bus di campo, che realizzano i robusti sistemi di controllo distribuito in ambito industriale. Come sul piano di fabbrica, anche a bordo dei veicoli il bus mette in comunicazione tra loro i vari nodi, le ECU, dotate d'interfaccia di comunicazione verso il bus, da un lato, e verso sensori e attuatori dall'altro, di un'unità di elaborazione (una CPU più o meno evoluta, come un microprocessore o un microcontrollore) e di una memoria per conservare i dati.



A bordo di un veicolo trovano posto diverse reti di comunicazione, ciascuna ottimizzata per il relativo dominio di applicazione

elettronica di bordo, aumenta la complessità di dotarsi di reti di comunicazione, da molto tempo ormai passate dalla semplice connessione punto-punto dei vari nodi, a forme di cablaggio strutturato con protocolli di comunicazione ottimizzati per ciascun ambito applicativo. Così, a bordo di ogni vettura trovano oggi posto diverse tipologie di reti intra-veicolari o IVN - In-Vehicle Network, caratterizzate da diversi protocolli, come CAN, LIN, TTP/C, Flexray e Most, per il trasferimento dei dati tra sensori, attuatori, sistemi di comunicazione e centraline di controllo. Le diverse reti possono essere poste in comunicazione tra loro per mezzo di opportuni gateway.

## Sulle auto... vince il bus

Una delle principali caratteristiche di una rete dedicata (embedded) per l'ambito automobilistico è senza dubbio la robustezza, dovendosi comportare in maniera affidabile in condizioni ambientali ostili in termini

## A ciascuno il suo dominio

Le diverse funzioni dell'elettronica di bordo sono distribuite su più reti e sottoreti, che possono essere raggruppate in 5 ambiti, o domini, applicativi: trazione, chassis, sicurezza passiva, comfort nell'abitacolo e telematica. Il dominio della trazione comprende il controllo del motore e della trasmissione e richiede reti altamente affidabili con vincoli di determinismo e di riproducibilità molto stretti. Data anche l'elevata mole di dati che devono essere elaborati dai complessi algoritmi di controllo della combustione o dai sistemi di recupero dell'energia cinetica, le reti di questo dominio devono essere veloci. Il dominio chassis si occupa delle funzioni di sicurezza attiva, di dinamica del mezzo e di assistenza alla guida, ma può includere anche i più moderni sistemi elettronici x-by-wire. Le reti in questo dominio si occupano di funzioni vitali, come i sistemi di antibloccaggio dei freni (ABS, Antilock Brake System), antipattinamento (ASR, AntiSlip Regulation) e di controllo della stabilità del mezzo, o necessarie alla guida, come la gestione della trazione integrale, il servosterzo elettronico e il controllo delle sospensioni attive. I sistemi x-by-wire, che consistono nell'implementa-

zione tutta elettronica di funzioni tradizionalmente realizzate da componenti meccanici o idraulici (freni, sterzo, cambio) rappresentano un trend emergente nel moderno settore automotive e richiedono, come tutte le funzioni nel dominio chassis, reti molto robuste, affidabili e veloci. In genere, sono le reti sincrone o ibride ad avere il determinismo e la velocità indispensabili a garantire la sicurezza del mezzo nelle applicazioni di questo genere. Requisiti analoghi vengono richiesti anche alle reti del dominio della sicurezza passiva, che comprende airbag e pretensionatori delle cinture di sicurezza. Meno critiche sono invece le funzioni implementate nel dominio dell'abitacolo, che si occupano dei sistemi e degli accessori che contribuiscono al comfort degli occupanti. I numerosi nodi di questo dominio comprendono: strumentazione del cruscotto, impianto di climatizzazione, elettronica di ausilio al parcheggio, chiusura centralizzata, servomeccanismi per il posizionamento di sedili, cristalli, fari, specchietti e tutti gli elementi dell'impianto elettrico. L'interazione con i numerosi nodi di questo dominio avviene per mezzo di comunicazioni sporadiche, che non hanno particolari esigenze di velocità e priorità e sono per questo implementate con reti a basso costo. Assolutamente non critiche sono poi le reti del dominio telematico, che si occupano delle comunicazioni con l'esterno, delle applicazioni multimediali e di infotainment. Rientrano in questo ambito i sistemi di posizionamento e navigazione satellitare, l'impianto stereo, i lettori CD e DVD e la connettività wireless voce/dati. Le reti di questo dominio scambiano enormi quantità di dati, richiedono alte velocità di trasmissione, ma possono permettersi il lusso dell'intempestività senza pregiudicare la sicurezza dell'automobile, o lo svolgimento dell'attività di guida. Most e Flexray sono i protocolli maggiormente diffusi in questo ambito.

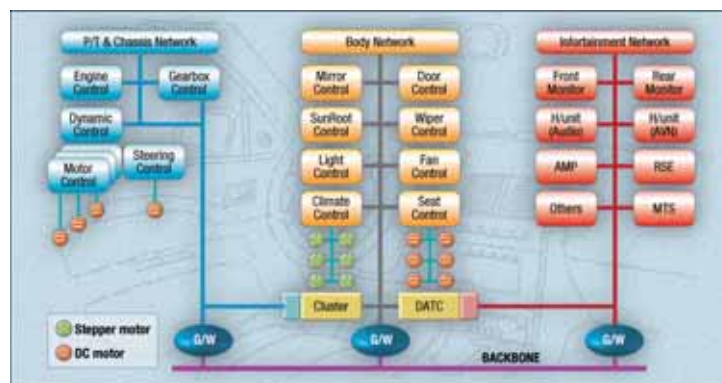
nella trasmissione di informazioni ausiliarie, come quelle da visualizzare sulla strumentazione del cruscotto o i dati sulle emissioni inquinanti. CAN e J1850 sono due standard molto diffusi in questo ambito. La classe C riguarda i sistemi critici con comunicazione in tempo reale a velocità superiori ai 125 kbps e convenzionalmente inferiori a 1 Mbps. Sistemi di questo tipo sono impiegati nei domini trazione e chassis (con esclusione dei sistemi x-by-wire) per gestire le funzioni del motore, l'assetto del veicolo, il sistema di frenata, il servosterzo e tutte quelle funzioni che richiedono un elevato grado di affidabilità. CAN ad alta velocità è il protocollo maggiormente diffuso in questo segmento, ma si prevede che FlexRay acquisterà sempre più spazio in futuro. La crescente complessità richiesta dai moderni sistemi automotive ha portato all'introduzione di una ulteriore classe caratterizzata dalle elevate velocità di comunicazione necessarie ai sistemi di sicurezza attiva e passiva, alle applicazioni x-by-wire e ai dispositivi multimediali. La classe D, infine, raccoglie i protocolli con velocità superiori a 1 Mbps e comprende tra gli altri gli standard Byteflight, Flexray e Most.

## Modalità di accesso alla rete

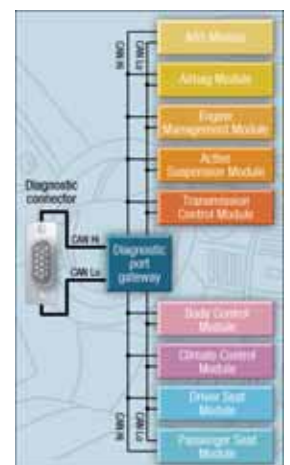
A differenziare le reti intraveicolari sono anche le modalità di accesso dei rispettivi protocolli, riconducibili a due diversi paradigmi: comunicazioni sincrone e asincrone. Nei protocolli sincroni le comunicazioni tra nodi avvengono a intervalli di tempo predefiniti e deterministici, generalmente utilizzando un meccanismo di accesso al mezzo a divisione di tempo (Tdma - Time division multiple access). Non essendo necessari meccanismi di gestione delle priorità e di arbitraggio, il trasferimento dati può essere veloce ed efficiente. Inoltre, il mancato invio di un messaggio o il non rispetto dei vincoli temporali da parte di un nodo ven-

## Classificate per velocità

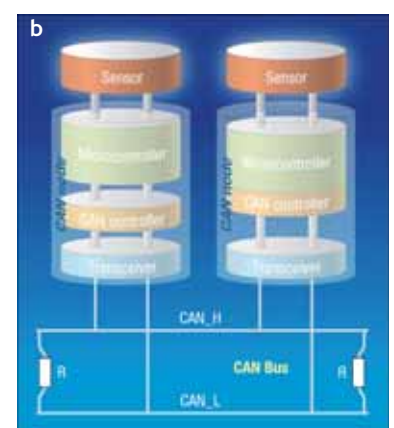
Una prima classificazione dei protocolli di comunicazione adottati nelle reti a bordo veicolo può essere fatta sulla base della velocità nominale. La società americana SAE (Society of Automotive Engineers), attiva fin dal 1905 nel campo della standardizzazione nel settore automobilistico, ha definito delle classi di appartenenza denotate dalle lettere A, B, C e D. I sistemi di classe A sono i più lenti ed economici, con una velocità massima di 10 kbps, che può essere tranquillamente gestita da semplici interfacce Uart. Questo tipo di sistemi viene utilizzato per comunicazioni non critiche (motori dei finestrini, chiusure, riscaldamento sedili ecc.) e sono caratterizzati dal basso costo per nodo. Gli standard LIN e TTP/A sono due esempi di questo tipo. Nella classe B ricadono i sistemi con velocità di trasmissione compresa tra i 10 e i 125 kbps, tipicamente impiegati



Le diverse reti a bordo veicolo dialogano tra loro per mezzo di opportuni gateway



Due esempi di bus veicolari: LIN (a) veicola i segnali utilizzando un solo filo (oltre al ritorno di massa sullo chassis); CAN (b) utilizza segnali differenziali per offrire una superiore immunità ai disturbi



**LIN (Local Interconnect Network)** è una soluzione semplice e a basso costo che trova applicazione nelle comunicazioni non critiche a bassa velocità (<20 kbps) con sensori e attuatori intelligenti. La trasmissione dati seriale richiede un solo filo (sfrutta la massa dello chassis per il ritorno) e si basa su un'architettura di tipo master-slave, in grado di tollerare clock relativamente poco precisi ed economiche interfacce Uart. Può essere utilizzato per controllare alzacristalli, sedili, tettuccio, chiusura centralizzata e impianto di condizionamento.

**I bus CAN (Controller Area Network)** si è affermato come standard per le comunicazioni a media e alta velocità in ambito automobilistico. Disponibile in diverse varianti, per velocità e meccanismi di accesso al mezzo, e trova applicazione in diversi ambiti, per esempio nel controllo dei sedili e dei cristalli elettrici, o nella gestione del motore e dei sistemi di frenata. Nella versione originale implementa un meccanismo di arbitraggio non distruttivo di tipo Csm-CR (Carrier sense multiple access with Collision Resolution) per la risoluzione delle collisioni.

**SAE J1850** è uno dei protocolli di comunicazione associati a Obd-II, lo standard della diagnostica di bordo (On Board Diagnostic) che permette di accedere con un unico PC ai dati diagnostici di qualsiasi veicolo. La sua diffusione è motivata dalla relativa economicità. È disponibile in due versioni: una bifilare, che veicola segnali differenziali con modulazione PWM, con velocità nominale di 41,6 kbps; un'altra monofilo, che utilizza impulsi di ampiezza variabile e raggiunge una velocità massima di 10,4 kbps. Entrambe le versioni utilizzano uno schema Csm/CR, per risolvere le collisioni tramite arbitraggio, e dispongono di un controllo CRC, per assicurare la correttezza dei dati ricevuti.

**TTP/C (Time Triggered Protocol)** è un protocollo sincrono basato sulla moltiplicazione a divisione di tempo che offre ridondanza, controllo CRC, strategie di confinamento e gestione degli errori ed è in grado di raggiungere velocità di trasferimento dati di 25 Mbps. Queste caratteristiche ne alzano il costo, ma lo rendono adatto all'impiego in applicazioni critiche come i sistemi x-by-wire.

La variante del protocollo CAN denominata **TT-Can (Time Triggered CAN)** aggiunge uno strato atto a gestire le comunicazioni sincrone con un meccanismo di tipo Tdma, per l'allocazione di slot temporali destinati alla trasmissione di determinati messaggi. A gestire la sincronizzazione dei nodi è un dispositivo master che invia periodici messaggi di riferimento utilizzati dagli altri nodi per le operazioni cicliche.

I bus seriale **Flexray** offre alte velocità di trasmissione (fino a 10 Mbps), determinismo, ridondanza e funzioni avanzate di sincronizzazione e resistenza ai guasti. Estensione del bus Byteflight, Flexray combina i meccanismi di accesso al mezzo di tipo event-triggered e time-triggered (con tecniche di moltiplicazione Tdma e Ftdma) e si propone come soluzione robusta per i sistemi di sicurezza attiva a bordo veicolo, nonché applicazioni steer-by-wire e brake-by-wire. Trova agevolmente posto al fianco delle reti LIN e CAN e può essere impiegato come dorsale su cui far confluire tutte le reti veicolari.

**Most (Media Oriented Systems Transport)** è un sistema di comunicazione punto-punto che supporta trasferimenti sincroni e asincroni con velocità fino a 25 Mbps. È in grado di sincronizzare tutti i nodi in un'architettura di tipo master-slave e sfrutta fibre ottiche plastiche per mettere le comunicazioni al riparo dalle interferenze elettromagnetiche. È stato pensato come soluzione per l'ambito telematico, con applicazioni che comprendono lettori CD e DVD, impianto stereo, posizionamento e navigazione satellitare e infotainment in genere.

gono interpretati come spia di un potenziale malfunzionamento, il che permette al sistema di apportare misure correttive per evitare di compromettere la sicurezza del veicolo. Per contro, le reti sincrone necessitano di un clock di sistema relativamente preciso e la loro estensione è complicata dalla necessità di ridefinire l'attribuzione degli intervalli con l'aggiunta di un nuovo nodo. TTP/C è un esempio di protocollo 'time-triggered'. Nelle comunicazioni asincrone i vari nodi trasmettono messaggi in corrispondenza del verificarsi di eventi specifici, determinati dall'azione del guidatore, dalla disponibilità di nuovi dati o dalle mutate condizioni operative. La comunicazione su un mezzo condiviso come un bus richiede un meccanismo di arbitraggio, che permetta di evitare collisioni, sulla base di ben definite priorità. Se da un lato questo meccanismo può inficiare il determinismo, dall'altro rende semplice modificare la rete togliendo o aggiungendo nodi. CAN è l'esempio per antonomasia di protocollo 'event-triggered'.

La crescente complessità dei sistemi integrati sui veicoli e la necessità di reti deterministiche a prova di guasto sempre più veloci hanno portato i progettisti a proporre reti ibride, in grado di unire i vantaggi dei protocolli di comunicazione sincrona e asincrona. TT-Can (Time-Triggered CAN), Byteflight e la sua evoluzione Flexray sono esempi di queste nuove reti ad alte prestazioni.

### Una questione di protocollo

Se si entra più indettaglio, i meccanismi di controllo del mezzo adottati dai protocolli delle reti di comunicazione in campo automobilistico si moltiplicano: si va dalle soluzioni centralizzate basate sull'uso di dispositivi master (come accade nei protocolli LIN e TTP/A), a quelle distribuite che si fondano sul passaggio di token (protocolli 'Timed Token'), passando per meccanismi di moltiplicazione a divisione di tempo (Tdma in TTP/C e Ftdma in Byteflight e Flexray), a quelli di accesso al mezzo con rilevamento della portante e gestione delle collisioni (Csm/CD, Csm/CR e Csm/CA). Talvolta uno stesso protocollo implementa più di uno di questi meccanismi alternativi, come nel caso di TT-Can, che affianca a un approccio centralizzato di comunicazioni sincrone gestite da un nodo master, un meccanismo d'invio dei messaggi al verificarsi di specifici eventi.

Cionondimeno, la tendenza affermata nel corso degli anni è di utilizzare diversi tipi di reti specialistiche nei vari domini di applicazione. È così normale vedere reti LIN a basso costo che connettono attuatori senza pretese di velocità e determinismo nel dominio dell'abitacolo, diversi tipi di reti CAN per le applicazioni a media velocità a livello trazione e chassis, Flexray per la gestione dei sistemi critici per la sicurezza e le funzioni x-by-wire e Most per le applicazioni multimediali 'affamate' di banda.