

SISTEMI PER L'INDUSTRIA E PLC

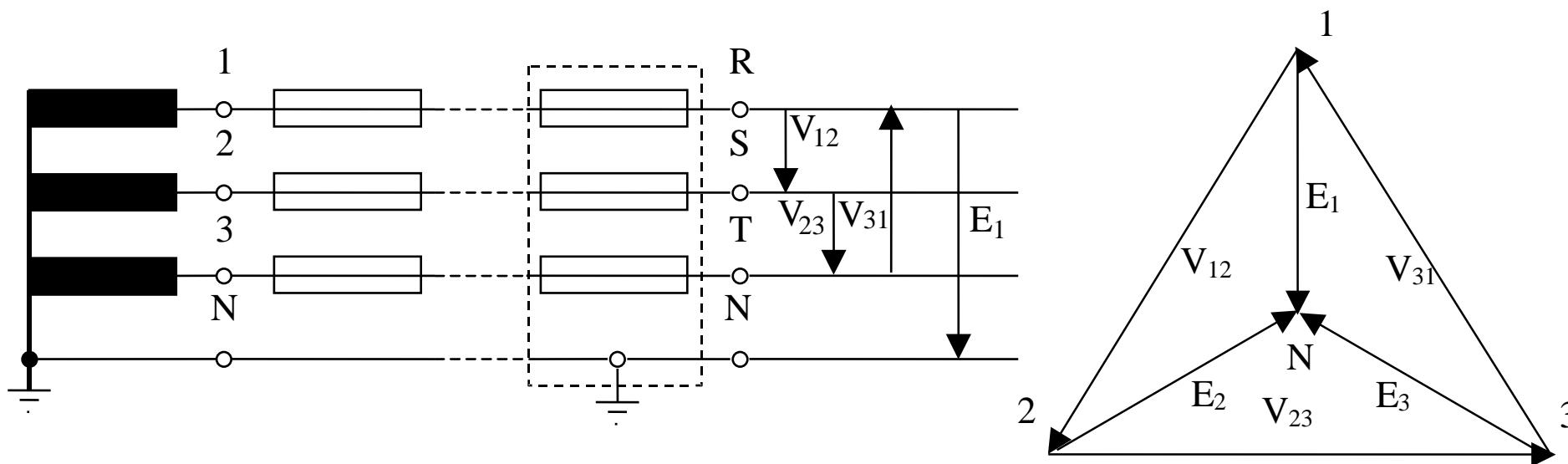
SEZIONE 4

Il livello di campo, dei sensori e degli attuatori

Nota: le slide con (*) sono da considerarsi approfondimenti

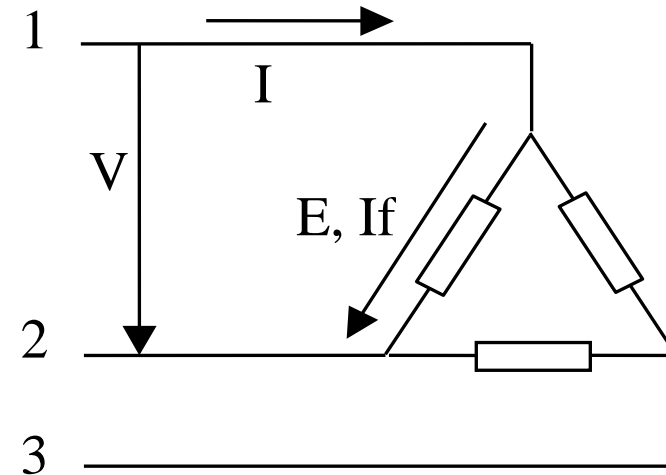
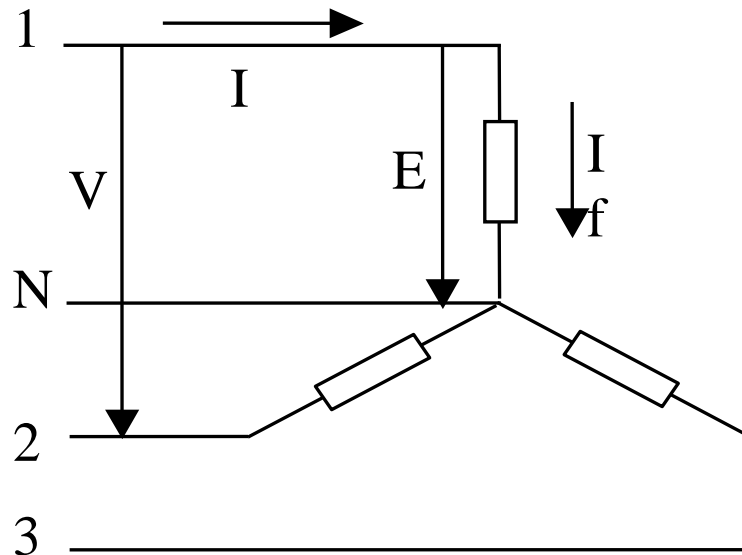
SISTEMA TRIFASE

- ❑ Sistema di 3 tensioni sinusoidali a frequenza $50\text{Hz} \pm 5\%$ sfasate tra loro di 120° :
 - In ogni istante la somma delle 3 fasi è nulla
 - Generazione a 380kV, distribuzione a 380kV, 110kV, 10kV,.. 380V
 - Tensioni “stellate” $E_i = 220V_{\text{eff}} \sin(2\pi * 50\text{Hz} * t + 120^\circ i)$ (fase e neutro in casa)
 - Tensioni “concatenate” $E_{12} = V_{12} = 2 * \cos(30^\circ) * 220V_{\text{eff}} = \sqrt{3} * 220V_{\text{eff}} = 380V_{\text{eff}}$



SISTEMA TRIFASE: CARICHI

- ❑ Dato un sistema di alimentazione trifase i carichi possono essere connessi a stella (3 carichi uguali tra fase e neutro) o a triangolo (3 carichi uguali tra fase e fase)



$$V = \sqrt{3} * E, \quad I = I_f, \quad P_{\text{load}} = E * I_f = V * I / \sqrt{3} = V^2 / 3R$$

$$V = E, \quad I = \sqrt{3} I_f, \quad P_{\text{load}} = E * I_f = V * I / \sqrt{3} = V^2 / R$$

- ❑ Il carico a stella assorbe meno potenza
(per entrambi $P_{\text{apparente}} = S[V * A] = 3E * I_f = \sqrt{3} V * I$, $P[W] = S * \cos\varphi$, $Q[\text{var}] = S * \sin\varphi$)

MACCHINE ELETTRICHE

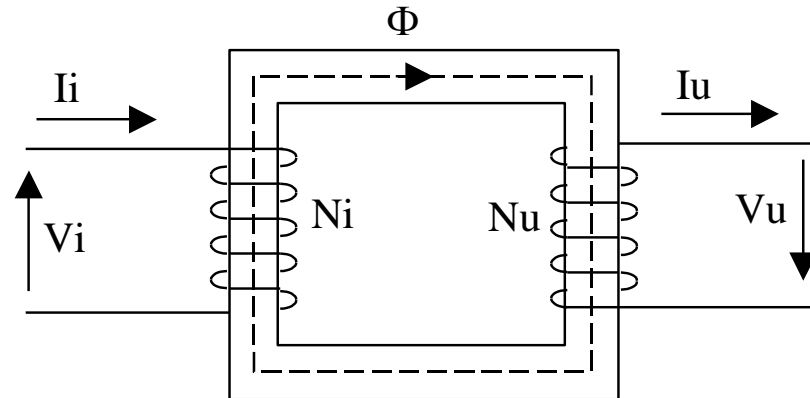
- ❑ **Trasformatori**
(trasferiscono potenza modificando tensioni e correnti)

- ❑ **Generatori**
(convertono energia meccanica in energia elettrica)

- ❑ **Motori**
(convertono energia elettrica in energia meccanica)

TRASFORMATORE

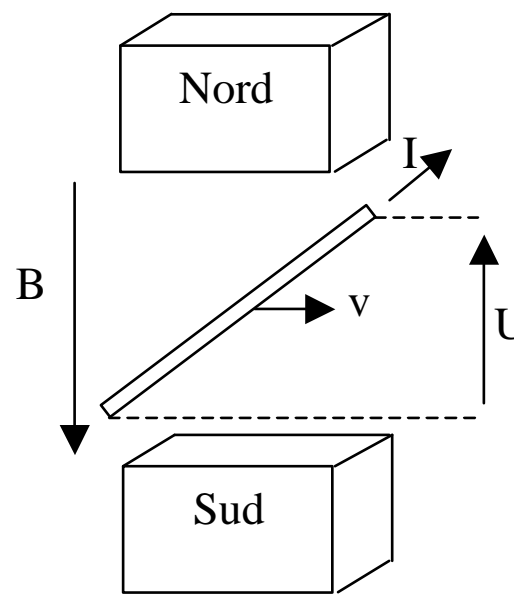
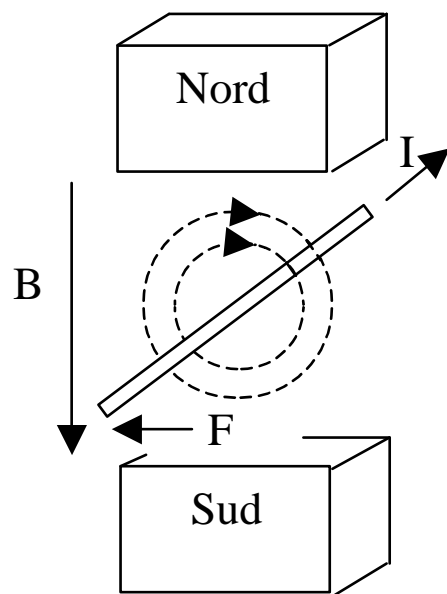
- ❑ Il trasformatore riceve in ingresso potenza, in termini di tensione V_i e corrente I_i , e la restituisce in uscita variando correnti e tensioni sulla base di un rapporto di trasformazione $k = N_i/N_u = V_i/V_u = I_u/I_i$



- ❑ Modificano il valore della tensione (Es. 10kV -> 380V -> 24V)
- ❑ Isolano elettricamente il carico dalla rete
- ❑ “Filtrano” il carico dalla rete (comportamento induttivo –filtro LC-)

PRINCIPIO DEL MOTORE E DEL GENERATORE

- ❑ Su un conduttore di lunghezza l percorso da corrente i e immerso in un campo magnetico di induzione B agisce una forza meccanica F che tende a generare uno spostamento (principio del motore)
- ❑ Se un conduttore di lunghezza l immerso in un campo magnetico di induzione B viene spostato lungo una certa direzione con velocità v allora ai suoi capi si genera una tensione U (principio del generatore)



TIPI DI MOTORI

- ❑ **Da un punto di vista costruttivo il motore è costituito da:**
 - **Parti costruttive attive per la conduzione a minima dispersione del flusso magnetico**
 - **Avvolgimenti per la generazione del flusso magnetico**
 - **Parti costruttive ausiliarie (sostegni, cuscinetti, alberi,...)**

- ❑ **Da un punto di vista strutturale il motore è costituito da:**
 - **Statore (parte fissa)**
 - **Rotore (parte mobile)**
 - **Traferro (separazione)**

- ❑ **Variando il tipo di statore (ad avvolgimenti, a poli,...) o il tipo di rotore si ottengono diversi tipi di motore:**
 - **Motore in corrente continua (C.C.)**
 - **Motore in corrente alternata (A.C.)**
 - **motore sincrono**
 - **motore asincrono,....**

LE PERDITE NELLE MACCHINE ELETTRICHE

❑ Perdite: -> calore -> raffreddamento

- Perdite a vuoto (magnetizzazione, attrito, eccitazione)
- Perdite sotto carico
- Potenza utilizzata $P_u < \text{potenza erogata } P_e$
- Rendimento η del motore ($\eta = P_u / P_e$)
- $P_e - P_u$ -> calore
- Calore -> calo affidabilità e rendimento -> raffreddamento

❑ Raffreddamento

- Passaggio di aria
(ventilazione naturale o ventilazione forzata mediante ventilatori esterni o previsti nel motore)
- Circolazione di liquidi
(la macchina o parte di essa viene percorsa da acqua o altro liquido o è immersa in tale liquido)

❑ Protezioni per sovratemperatura del motore

MACCHINE ELETTRICHE: protezioni dagli agenti esterni

□ **Grado di protezione: IP_{xy}**

□ **x: protezione dall'intrusione di solidi**

0: nessuna protezione

1: grandi corpi –mano–

2: corpi medi –dito–

3: corpi piccoli (<2.4mm)

4: fili (d<1mm)

5: deposito di polvere

6: polvere (protezione completa)

y: protezione dall'intrusione di liquidi

0: nessuna protezione

1: gocce di condensa

2: pioggia (inclinazione 0-15°)

3: pioggia (inclinazione 0-60°)

4: pioggia (qualunque inclinazione)

5: temporanea inondazione

6: getti d'acqua da ogni direzione

7: penetrazione di acqua

8: acqua in pressione

MOTORI: CONDIZIONI OPERATIVE

❑ Curve caratteristiche = curve coppia-giri

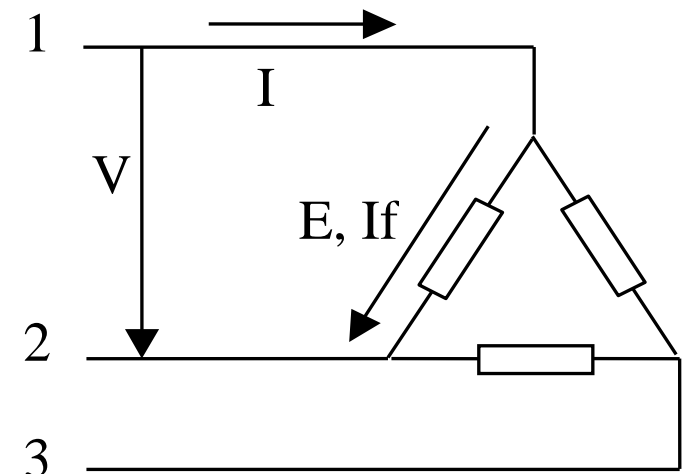
- N =numero giri al minuto=costante \leftrightarrow

Coppia resistente R = coppia motrice $M = F \cdot r = B \cdot I \cdot l \cdot m \cdot r \propto B \cdot I$
(m = numero conduttori di lunghezza l , r = raggio rotore)

- Potenza motrice $P = F \cdot s/t = F \cdot 2\pi r \cdot n = 2\pi \cdot M \cdot n$

❑ Motori (A.C. induction motor) a inserzione diretta

- 50 Hz = 3000 rpm (round per minute)
- buon rendimento a $M=M_{load}$, $n=n_{nom}$
- bassa impedenza da fermi
 - tanta corrente
 - coppia di spunto bassa
 - corrente da fermo = calore
- avviamento stella-triangolo per limitare I_f
 - stella: $V=\sqrt{3} \cdot E$, $I=I_f=E/R=V/\sqrt{3}R$
 - triangolo: $V=E$, $I=\sqrt{3}I_f$, $I_f=E/R=V/R$
 - Riduzione coppia di spunto, brevi sovracorrenti alla commutazione



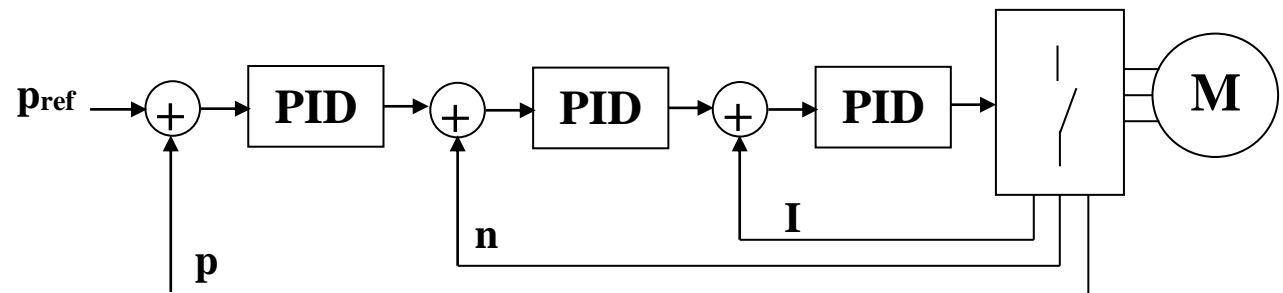
AZIONAMENTI

❑ Utilizzati per ottenere avviamenti controllati e/o regolazione della velocità

❑ In prima approssimazione:

- controllano la coppia regolando la corrente
- controllano la velocità regolando la tensione

❑ Controllo digitale (PID)



❑ Gestiscono le protezioni

- massima corrente
- protezione termica

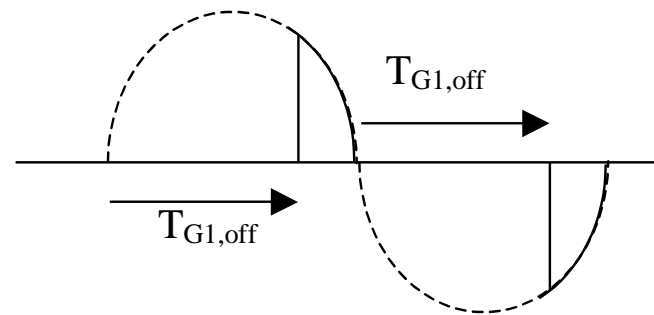
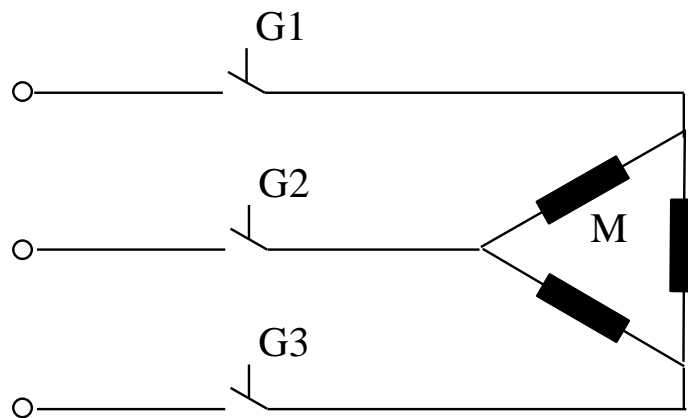
❑ Forniscono indicazioni diagnostiche

- corrente, velocità, posizione
- stato dei comandi e delle protezioni

❑ Si interfacciano ai sistemi di controllo e supervisione

SOFT STARTER

- ❑ Utilizzati per ottenere avviamenti controllati
- ❑ La tensione al motore viene regolata regolando l'angolo d'innesco degli interruttori elettronici G1, G2, G3 rispetto all'angolo di accensione naturale (anello aperto)
 - rampa lineare di tensione
 - doppia pendenza per superare la coppia resistente iniziale
 - la velocità non si muove linearmente con la tensione
 - carico leggero -> velocità nominale prima della tensione nominale
 - carico pesante -> velocità nominale dopo la tensione nominale

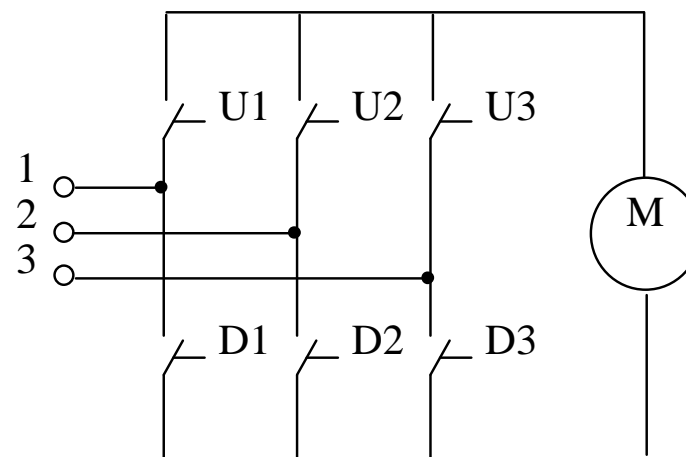


AZIONAMENTI AC/DC

- ❑ Utilizzati per la regolazione di motori in corrente continua
- ❑ Azionamenti in C. C.
 - ottime prestazioni (dinamica, accuratezza, assenza di vibrazioni)
 - funzionamento sui 4 quadranti (motore avanti, motore indietro, recupero avanti, recupero indietro)
 - regolazione della tensione continua di armatura
 - ciascuna coppia agisce in conduzione naturale per $1/6$ del periodo

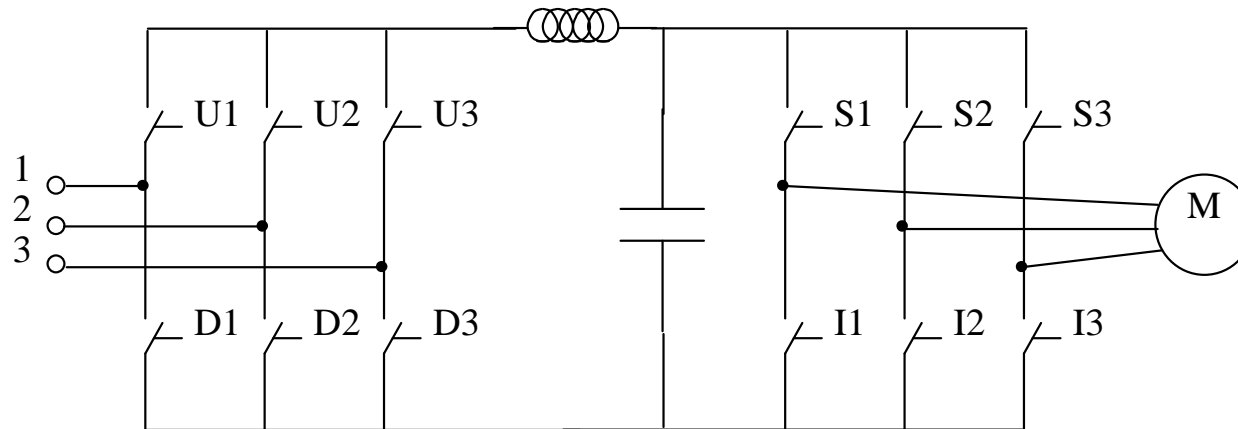
SEQUENZA DELLE FASI:

U1	U1	U2	U2	U3	U3	U1	...
D2	D3	D3	D1	D1	D2	D2	...



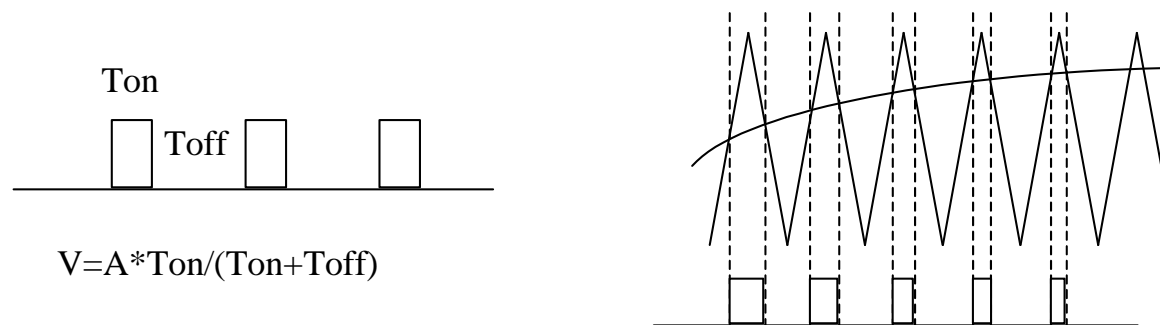
AZIONAMENTI AC/AC

- ❑ **Inverter: utilizzati per la regolazione di tensione e frequenza dei motori in A.C.**



- ❑ **Convertitore AC/DC seguito da un convertitore DC/AC**

- **sinusoidi mediante interruptori -> PWM (Pulse Width Modulation)**
- **onda rettangolare (A, $D = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$) -> filtro passa-basso -> $V_{DC} = A * D$.**
- **sinusoide PWM = uscita comparatore tra sinusoide (f) e onda triangolare ($\gg f$)**

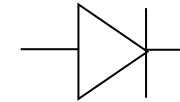


INTERRUTTORI DI POTENZA

❑ **Potenze medio basse: transistori bipolari e MOSFET di potenza**

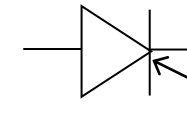
❑ **Diodi di potenza**

- non consentono alcuna parzializzazione dell'angolo d'innescio
- configurazione in antiparallelo per la bidirezionalità



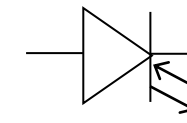
❑ **Tiristore**

- 4 strati (PNPN)
- diodo con accensione controllata dal gate
- spegnimento non controllato



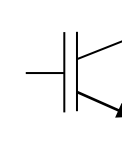
❑ **GTO (Gate Turn Off thyristor)**

- Si spegne applicando una tensione negativa al gate



❑ **IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)**

- Combina la tecnologia bipolare e CMOS
- Perdite nulle -> maggiori potenze



ATTUATORI

- ❑ **Organi di comandi, discreti (ON/OFF) o continui (es. azionamenti)**
- ❑ **Comandi:**
 - **da operatore**
 - **da sistema automatico**
- ❑ **Comandi di emergenza:**
 - **da operatore (diretto) e da sistema automatico**
- ❑ **Alcuni tipi di attuatori:**
 - **Lampade di segnalazione (220AC, 24AC, 24DC,..)**
 - **Attuatori termici (forni, impianti di riscaldamento, raffreddamento,..)**
 - **regolazione continua della tensione applicata al riscaldatore**
 - **regolazione ON/OFF**
 - **Attuatori elettromagnetici (elettromagneti di sollevamento, freni, giunti, valvole, relais...)**

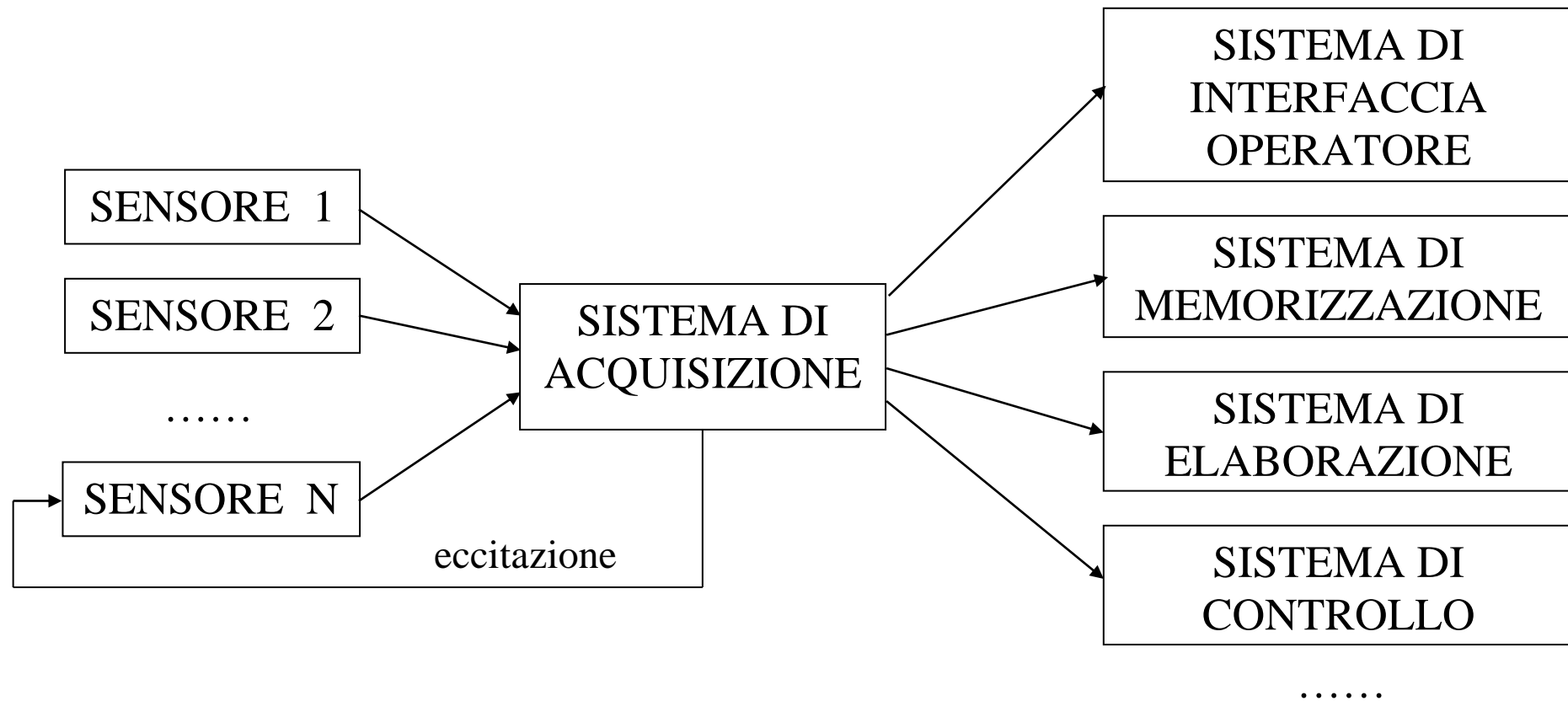
SENSORI

- ❑ **Sensore: converte una grandezza fisica (misurando) in un segnale elettrico**

- ❑ **Classificazione:**
 - **Principio fisico**
 - **Grandezza da misurare**
 - **Settore applicativo**

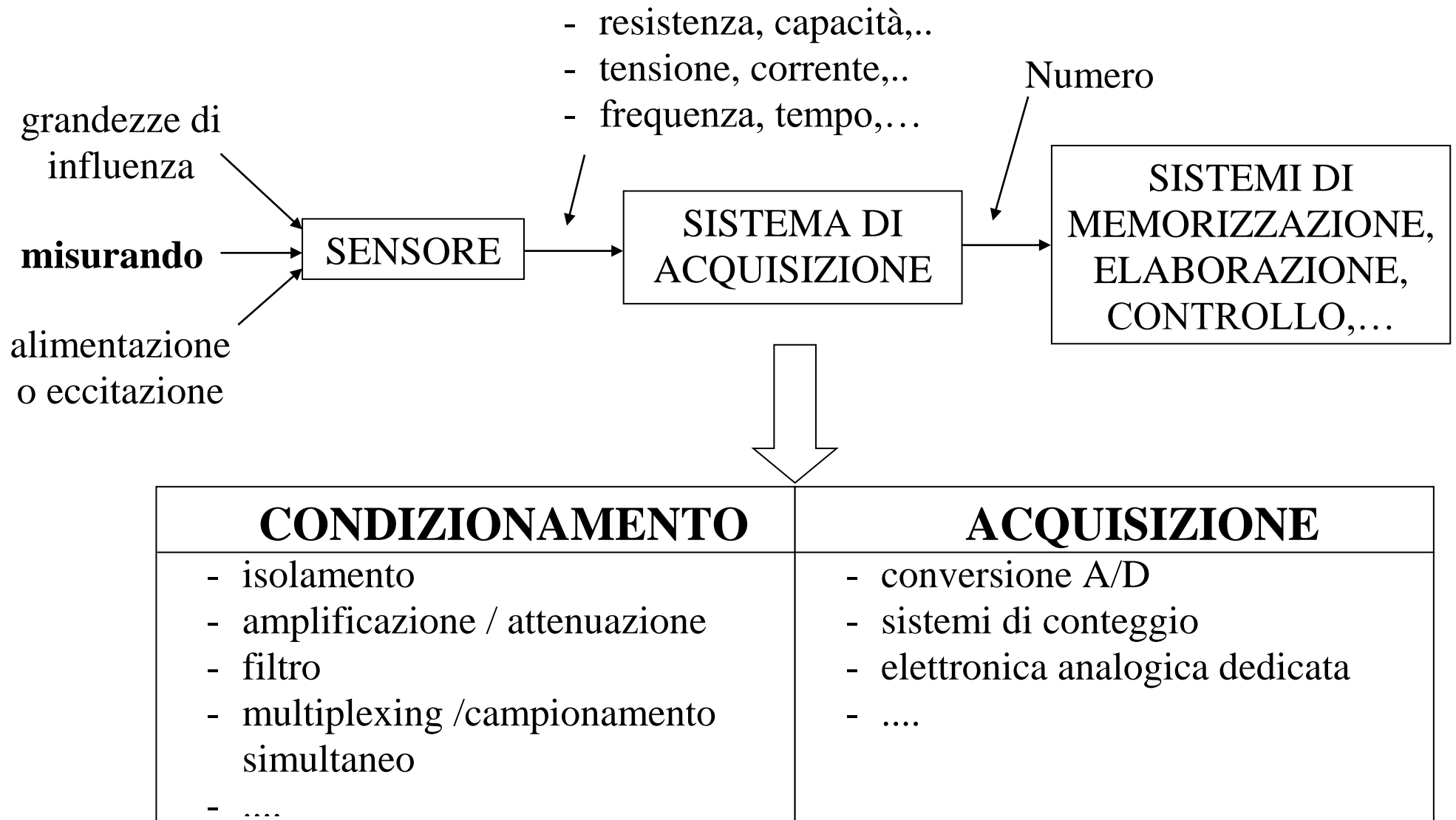
- ❑ **Classificazione energetica:**
 - **Sensori attivi (non necessitano di potenza esterna)**
 - **segnale di uscita debole (richiedono amplificazione)**
 - **sensori piezoelettrici, fotoelettrici,....**
 - **Sensori passivi (necessitano di potenza esterna per fornire il segnale di uscita)**
 - **dissipano, si deteriorano,....**
 - **sensori resistivi, capacitivi,....**

USO DEI SENSORI



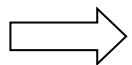
- ❑ I sensori forniscono segnali elettrici in relazione con la grandezza di interesse
- ❑ Necessitano di sistemi di acquisizione (interfaccia, preelaborazione) prima dell'uso finale

ACQUISIZIONE DATI DA SENSORI



SENSORI: problematiche

- ❑ **Termocoppie (sensori di temperatura)**
 - **non necessitano di alimentazione, segnale piccolo (μV), temperatura di giunto freddo**
- ❑ **Celle estensimetriche (sensori di spostamento)**
 - **necessitano di alimentazione, dipendono dalla temperatura (configurazione a ponte)**
- ❑ **Cellule fotoelettriche (sensori di presenza)**
 - **necessitano di alimentazione e isolamento, problemi di interferenza, segnale facile da trattare (ON/OFF)**
- ❑ **Encoder incrementale (sensori di posizione, velocità)**
 - **necessitano di alimentazione, segnali in quadratura da gestire in tempo reale**
- ❑ **...**



CONDIZIONAMENTO E PREELABORAZIONE “AD HOC”

SENSORI: CARATTERIZZAZIONE

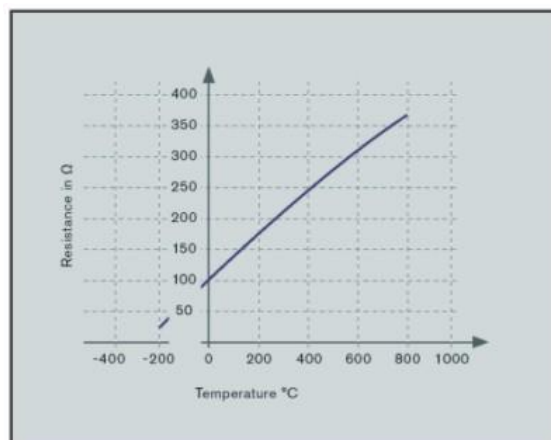
- ❑ **Caratteristiche statiche**
descrivono le prestazioni del sensore in condizioni normali con variazioni lente dell'ingresso ed in assenza di sollecitazioni esterne
- ❑ **Caratteristiche dinamiche**
descrivono il comportamento del sensore alle variazioni dell'ingresso con il tempo
- ❑ **Caratteristiche ambientali**
si riferiscono alle prestazioni del sensore dopo l'esposizione -condizioni ambientali non operative- o durante l'esposizione -condizioni ambientali operative- a specifiche sollecitazioni esterne
- ❑ **Caratteristiche di affidabilità**
sono relazionate alla vita utile del sensore e a possibili cause di mal funzionamento nel sistema in cui è inserito

SENSORI: CARATTERISTICA DI TRASFERIMENTO

- ❑ **Esiste una relazione ideale h tale che $Out = h(M)$**
 - In genere h è lineare
 - Invece della funzione h , il costruttore mette a disposizione grafici o tabelle garantiti per valori tipici delle grandezze di influenza
- ❑ **Acquisito Out , si ricava la stima di $M = \langle M \rangle = h^{-1}(Out)$**
- ❑ **Sensore reale:**
 - Peculiarità costruttive $\rightarrow h$ differisce leggermente da sensore a sensore
 - Fascia di incertezza massima α $\langle M \rangle = h^{-1}(Out \pm \alpha [\% (Out_{max} - Out_{min})])$
 - Determino α sulla base della calibrazione (taratura) del singolo sensore
- ❑ **Calibrazione**
 - Test nei quali si applicano al sensore valori noti registrandone i valore di uscita
 - Caratteristica di trasferimento per punti
 - Riduce α , incide sul costo del sensore

Esempio: PT100

- ❑ **PT100 = il Platino varia la sua resistenza al variare della temperatura ($\alpha = 0,0038501/^{\circ}$)**
 - **PT100 è la resistenza che vale 100Ω a 0°C**
 - **$T(-50^{\circ}\text{C}) = 80,7495\Omega$ (80,31 da tabella)**
 - **$T(50^{\circ}\text{C}) = 119,2505\Omega$ (119,4 da tabella)**
 - **$T(100^{\circ}\text{C}) = 138,501\Omega$ (138,5 da tabella)**
 - **$T(200^{\circ}\text{C}) = 177,002\Omega$ (175,84 da tabella)**
 - **La caratteristica non è lineare (Carel PT100)**
 - **Limitazione del range o linearizz. a tratti**
 - **Leggo un numero, ricavo R, ma T???**



$^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$^{\circ}\text{C}$
-200	10,49											-200
-190	22,80	22,37	21,94	21,51	21,08	20,65	20,22	19,79	19,36	18,93	18,49	-190
-180	27,08	26,65	26,23	25,80	25,37	24,94	24,52	24,09	23,66	23,23	22,80	-180
-170	31,32	30,90	30,47	30,05	29,63	29,20	28,78	28,35	27,93	27,50	27,08	-170
-160	35,53	35,11	34,69	34,27	33,85	33,43	33,01	32,59	32,16	31,74	31,32	-160
-150	39,71	39,30	38,88	38,46	38,04	37,63	37,21	36,79	36,37	35,95	35,53	-150
-140	43,87	43,45	43,04	42,63	42,21	41,79	41,38	40,96	40,55	40,13	39,71	-140
-130	48,00	47,59	47,18	46,76	46,35	45,94	45,52	45,11	44,70	44,28	43,87	-130
-120	52,11	51,70	51,29	50,88	50,47	50,06	49,64	49,23	48,82	48,41	48,00	-120
-110	56,19	55,78	55,38	54,97	54,56	54,15	53,74	53,33	52,92	52,52	52,11	-110
-100	60,25	59,85	59,44	59,04	58,63	58,22	57,82	57,41	57,00	56,60	56,19	-100
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,87	61,47	61,06	60,66	60,25	-90
-80	68,33	67,93	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70	64,30	-80
-70	72,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73	68,33	-70
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73	72,33	-60
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,13	76,73	76,33	-50
-40	84,27	83,88	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70	80,31	-40
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67	84,27	-30
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,40	89,01	88,62	88,22	-20
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55	92,16	-10
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48	96,09	0
10	103,90	103,50	103,10	102,71	102,31	101,92	101,52	101,13	100,73	100,34	99,94	10
20	107,79	107,39	106,99	106,59	106,19	105,79	105,39	104,99	104,59	104,19	103,79	20
30	111,67	111,27	110,87	110,47	110,07	109,67	109,27	108,87	108,47	108,07	107,67	30
40	115,54	115,14	114,74	114,34	113,94	113,54	113,14	112,74	112,34	111,94	111,54	40
50	119,40	119,00	118,60	118,20	117,80	117,40	117,00	116,60	116,20	115,80	115,40	50
60	123,24	122,84	122,44	122,04	121,64	121,24	120,84	120,44	120,04	119,64	119,24	60
70	127,07	126,67	126,27	125,87	125,47	125,07	124,67	124,27	123,87	123,47	123,07	70
80	130,89	130,49	130,09	129,69	129,29	128,89	128,49	128,09	127,69	127,29	126,89	80
90	134,70	134,30	133,90	133,50	133,10	132,70	132,30	131,90	131,50	131,10	130,70	90
100	138,50	138,10	137,70	137,30	136,90	136,50	136,10	135,70	135,30	134,90	134,50	100
110	142,29	141,89	141,49	141,09	140,69	140,29	139,89	139,49	139,09	138,69	138,29	110
120	146,06	145,66	145,26	144,86	144,46	144,06	143,66	143,26	142,86	142,46	142,06	120
130	149,82	149,42	149,02	148,62	148,22	147,82	147,42	147,02	146,62	146,22	145,82	130
140	153,58	153,18	152,78	152,38	151,98	151,58	151,18	150,78	150,38	149,98	149,58	140
150	157,31	156,91	156,51	156,11	155,71	155,31	154,91	154,51	154,11	153,71	153,31	150
160	161,04	160,64	160,24	159,84	159,44	159,04	158,64	158,24	157,84	157,44	157,04	160
170	164,76	164,36	163,96	163,56	163,16	162,76	162,36	161,96	161,56	161,16	160,76	170
180	168,46	168,06	167,66	167,26	166,86	166,46	166,06	165,66	165,26	164,86	164,46	180
190	172,16	171,76	171,36	170,96	170,56	170,16	169,76	169,36	168,96	168,56	168,16	190
200	175,84	175,44	175,04	174,64	174,24	173,84	173,44	173,04	172,64	172,24	171,84	200
210	179,51	179,11	178,71	178,31	177,91	177,51	177,11	176,71	176,31	175,91	175,51	210
220	183,17	182,77	182,37	181,97	181,57	181,17	180,77	180,37	179,97	179,57	179,17	220
230	186,82	186,42	186,02	185,62	185,22	184,82	184,42	184,02	183,62	183,22	182,82	230
240	190,45	190,05	189,65	189,25	188,85	188,45	188,05	187,65	187,25	186,85	186,45	240
250	194,07	193,67	193,27	192,87	192,47	192,07	191,67	191,27	190,87	190,47	190,07	250
260	197,69	197,29	196,89	196,49	196,09	195,69	195,29	194,89	194,49	194,09	193,69	260
270	201,29	200,89	200,49	200,09	199,69	199,29	198,89	198,49	198,09	197,69	197,29	270
280	204,88	204,48	204,08	203,68	203,28	202,88	202,48	202,08	201,68	201,28	200,88	280
290	208,45	208,05	207,65	207,25	206,85	206,45	206,05	205,65	205,25	204,85	204,45	290
300	212,02	211,62	211,22	210,82	210,42	210,02	209,62	209,22	208,82	208,42	208,02	300
310	215,57	215,17	214,77	214,37	213,97	213,57	213,17	212,77	212,37	211,97	211,57	310
320	219,12	218,72	218,32	217,92	217,52	217,12	216,72	216,32	215,92	215,52	215,12	320

Esempio: PT100

- ❑ PT100 = il Platino varia la sua resistenza al variare della temperatura ($\alpha = 0,0038501/^{\circ}\text{C}$)
- PT100 è la resistenza che vale 100Ω a 0°C
 - $T(-50^{\circ}\text{C}) = 80,7495\Omega$ (80,31 da tabella)
 - $T(50^{\circ}\text{C}) = 119,2505\Omega$ (119,4 da tabella)
 - $T(100^{\circ}\text{C}) = 138,501\Omega$ (138,5 da tabella)
 - $T(200^{\circ}\text{C}) = 177,002\Omega$ (175,84 da tabella)
 - La caratteristica non è lineare (Carel PT100)
 - Limitazione del range o linearizz. a tratti

R	T	T* = RxA+B		Range limitato T* = RxA+B	
80,31	-50	-51,25923	-1,25923	-51,91773	-1,917728
100	0	0,265003	0,265003	-0,383778	-0,383778
119,4	50	51,03037	1,030372	50,39116	0,391165
138,5	100	101,0107	1,01071	100,3809	0,380928
157,31	150	150,2322	0,232184	149,6117	-0,388315
175,84	200	198,721	-1,279038	198,1096	-1,890393

2,616772 = PENDENZA(B3:B8;A3:A8) A
 -261,4122 =INTERCETTA(B3:B8;A3:A8) B

2,617265 = PENDENZA(B4:B7;A4:A7) A
 -262,1103 =INTERCETTA(B4:B7;A4:A7) B

$^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$^{\circ}\text{C}$
-200	18,49											-200
-190	22,80	22,37	21,94	21,51	21,08	20,65	20,22	19,79	19,36	18,93	18,49	-190
-180	27,08	26,65	26,23	25,80	25,37	24,94	24,52	24,09	23,66	23,23	22,80	-180
-170	31,32	30,90	30,47	30,05	29,63	29,20	28,78	28,35	27,93	27,50	27,08	-170
-160	35,53	35,11	34,69	34,27	33,85	33,43	33,01	32,59	32,16	31,74	31,32	-160
-150	39,71	39,30	38,88	38,46	38,04	37,63	37,21	36,79	36,37	35,95	35,53	-150
-140	43,87	43,45	43,04	42,63	42,21	41,79	41,38	40,96	40,55	40,13	39,71	-140
-130	48,00	47,59	47,18	46,76	46,35	45,94	45,52	45,11	44,70	44,28	43,87	-130
-120	52,11	51,70	51,29	50,88	50,47	50,06	49,64	49,23	48,82	48,41	48,00	-120
-110	56,19	55,78	55,38	54,97	54,56	54,15	53,74	53,33	52,92	52,52	52,11	-110
-100	60,25	59,85	59,44	59,04	58,63	58,22	57,82	57,41	57,00	56,60	56,19	-100
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,87	61,47	61,06	60,66	60,25	-90
-80	68,33	67,93	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70	64,30	-80
-70	72,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73	68,33	-70
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73	72,33	-60
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,13	76,73	76,33	-50
-40	84,27	83,88	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70	80,31	-40
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67	84,27	-30
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,40	89,01	88,62	88,22	-20
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55	92,16	-10
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48	96,09	0
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40	107,79	10
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28	111,67	20
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	114,00	114,38	114,77	115,15	115,54	30
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01	119,40	40
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86	123,24	50
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69	127,07	60
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51	130,89	70
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32	134,70	80
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12	138,50	90
100	138,50	138,88	139,26	139,64	140,02	140,39	140,77	141,15	141,53	141,91	142,29	100
110	142,29	142,66	143,04	143,42	143,80	144,17	144,55	144,93	145,31	145,68	146,06	110
120	146,06	146,44	146,81	147,19	147,57	147,94	148,32	148,70	149,07	149,45	149,82	120
130	149,82	150,20	150,57	150,95	151,33	151,70	152,08	152,45	152,83	153,20	153,58	130
140	153,58	153,95	154,32	154,70	155,07	155,45	155,82	156,19	156,57	156,94	157,31	140
150	157,31	157,69	158,06	158,43	158,81	159,18	159,55	159,93	160,30	160,67	161,04	150
160	161,04	161,42	161,79	162,16	162,53	162,90	163,27	163,65	164,02	164,39	164,76	160
170	164,76	165,13	165,50	165,87	166,24	166,61	166,98	167,35	167,72	168,09	168,46	170
180	168,46	168,83	169,20	169,57	169,94	170,31	170,68	171,05	171,42	171,79	172,16	180
190	172,16	172,53	172,90	173,26	173,63	174,00	174,37	174,74	175,10	175,47	175,84	190
200	175,84	176,21	176,57	176,94	177,31	177,68	178,04	178,41	178,78	179,14	179,51	200
210	179,51	179,88	180,24	180,61	180,97	181,34	181,71	182,07	182,44	182,80	183,17	210
220	183,17	183,53	183,90	184,26	184,63	184,99	185,36	185,72	186,09	186,45	186,82	220
230	186,82	187,18	187,54	187,91	188,27	188,63	189,00	189,36	189,72	190,09	190,45	230
240	190,45	190,81	191,18	191,54	191,90	192,26	192,63	192,99	193,35	193,71	194,07	240
250	194,07	194,44	194,80	195,16	195,52	195,88	196,24	196,60	196,96	197,33	197,69	250
260	197,69	198,05	198,41	198,77	199,13	199,49	199,85	200,21	200,57	200,93	201,29	260
270	201,29	201,65	202,01	202,36	202,72	203,08	203,44	203,80	204,16	204,52	204,88	270
280	204,88	205,23	205,59	205,95	206,31	206,67	207,02	207,38	207,74	208,10	208,45	280
290	208,45	208,81	209,17	209,52	209,88	210,24	210,59	210,95	211,31	211,66	212,02	290
300	212,02	212,37	212,73	213,09	213,44	213,80	214,15	214,51	214,86	215,22	215,57	300
310	215,57	215,93	216,28	216,64	216,99	217,35	217,70	218,05	218,41	218,76	219,12	310
320	219,12	219,47	219,82	220,18	220,53	220,88	221,24	221,59	221,94	222,29	222,65	320

SENSORI: CARATTERISTICHE STATICHE (1/2)

- ❑ **Range o span o portata o fondo scala (FS)**
intervallo dinamico di ingresso (massimo valore meno minimo valore) che può essere convertito dal sensore con una incertezza prestabilita
- ❑ **Full Scale Output (FSO)**
differenza fra i segnali di uscita del sensore quando ad esso sono applicati i valori estremi del range
- ❑ **Isteresi [%FSO]**
massima differenza tra i valori di uscita corrispondente ad uno stesso ingresso, ottenuto per valori crescenti e decrescenti.
- ❑ **Ripetibilità [entro....%FSO]**
capacità di riprodurre la stessa uscita quando è applicato lo stesso ingresso, consecutivamente, nelle stesse condizioni operative e nella stessa direzione.
E' espressa come massima differenza tra le uscite di più cicli di calibrazione.

SENSORI: CARATTERISTICHE STATICHE (2/2)

❑ Risoluzione o detectivity [%FSO]

- Rappresenta l'abilità del trasduttore nel rivelare il segnale di ingresso (limitata dal rumore da esso prodotto)
- minimo segnale rilevabile = segnale di ingresso I tale che $SNR_{uscita} = 1$
 $I = 0 \rightarrow$ solo rumore; minimo segnale rilevabile / Potenza(I) = Potenza(rumore)

❑ Linearità [entro $\pm \dots$ %FSO]

indica lo scostamento della curva di taratura sperimentale dalla retta di riferimento (r.r.) ottenuta dai dati sperimentali di calibrazione.

- Linearità terminale (r.r. per gli estremi)
- Linearità ai minimi quadrati (r.r. ottenuta con il metodo dei minimi quadrati)
-

❑ Sensibilità [... %] (sensitivity o responsivity o costante di trasduzione)

- rapporto tra il segnale di uscita e la grandezza trasdotta calcolata sulla r.r.
- sensibilità trasversa verso altre grandezze (cross sensitivity)
- Offset = segnale di uscita in assenza di stimolo

SENSORI: ACQUISIZIONE

- ❑ **Esempio1: sensore di temperatura con uscita $V(T) = 1V + (50mV/^{\circ}C) \cdot (T - 20^{\circ}C)$**
- **Acquisisco V in Volt e devo calcolare T in $^{\circ}C$**
 - **$T = 20^{\circ}C + (V - 1V)/(50mV/^{\circ}C)$ $T = T_o + (V - V_o)/S$**
 - **Devo dimensionare il range del segnale da acquisire (V_{min} , V_{max}) sulla base di T_{max} e T_{min} ($T_{max} = T_o + (V_{max} - V_o)/S$). Se il mio sistema di acquisizione acquisisce tra $V1$ e $V2$ si deve avere $V1 < V_{min}$ a $V2 > V_{max}$**
 - **Devo dimensionare la risoluzione del sistema di acquisizione (n = numero bit)**
La risoluzione in Volt è pari $dV = (V2 - V1)/2^n$, la risoluzione in $^{\circ}C$ è $dT = dV/S$
 - **Si fissa la risoluzione di poco migliore (stesso ordine di grandezza) rispetto a linearità, ripetibilità, incertezza sui valori di S , T_o , V_o ,...**
- ❑ **Esempio2: sensore non lineare calibrato per punti (T_j , V_j) -> linearizzazione a tratti**
- **All'inizio si costruisce una tabella a due colonne V_j e T_j .**
Si misura la tensione V e si trova i / $V_i < V < V_{i+1}$
 $T = T_i + (V - V_i) \cdot (T_{i+1} - T_i) / (V_{i+1} - V_i)$
 - **Per evitare la divisione è meglio utilizzare una tabella a 3 colonne V_i , T_i , S_i**
 $S_i = (T_{i+1} - T_i) / (V_{i+1} - V_i)$ e si calcola $T = T_i + (V - V_i) \cdot S_i$

SENSORI: ACQUISIZIONE

❑ Esercizio:

Sensore resistivo di temperatura: $R[\text{Ohm}] = 1200 + k(T-273)$, dove $k=2 \text{ Ohm}/^\circ\text{C}$ nel range $[0-200^\circ\text{C}]$ e T è espressa in $^\circ\text{C}$.

Il sensore è alimentato a $VCC=10\text{V}$ e il segnale in corrente $I=VCC/R$ viene portato ad un ingresso analogico in corrente che restituisce $0x0000$ se la corrente è 0mA e $0x3fff$ se la corrente è 20mA .

- Come calcolo T in $^\circ\text{C}$? Qual'è il range numerico?
- Apprezzo il centesimo di grado? Qual'è la risoluzione in $^\circ\text{C}$?

❑ Soluzione:

- Il numero N che leggo è proporzionale alla corrente I ($I = 20\text{mA} * N / 2^{14}$)
- La resistenza R si ricava dalla corrente I ($R = 10\text{V} / I = 500\text{Ohm} * 2^{14} / N$)
- La temperatura T si ricava da R , ossia $T = 273 + (R - 1200) / k = 273 + 250(2^{14} / N - 2.4)$

$T_{\min}=0^\circ\text{C}$, $R_{\min}=654$, $I_{\max}=15,29\text{mA}$, $N_{\max}=12526=30\text{EEh}$

$T_{\max}=200^\circ\text{C}$, $R_{\max}=1054$, $I_{\min}=9,48\text{mA}$, $N_{\min}=7772=1\text{E5Ch}$

$\Delta N=1$, $\Delta I=20\text{mA} / 2^{14}=1,2\mu\text{A}$, $\Delta R=(10\text{V} / I_{\min}) - (10\text{V} / (I_{\min} + \Delta I))=0,13\Omega$, $\Delta T=\Delta R / k=0,067^\circ\text{C}$

SENSORI: CARATTERISTICHE STATICHE, RIEPILOGO

- ❑ Al progettista di automazione sono date le specifiche di misura della grandezza M
 - M_{\min} , M_{\max} , dM (dM = risoluzione della misura, minima variazione apprezzabile)

- ❑ Il progettista sceglie il sensore con caratteristica $Out=Out(M)$ sulla base di:
 - Linearità nel range tra M_{\min} e M_{\max} ($Out=a \cdot M+b$)
 - Sensibilità (il coeff. a deve essere abbastanza elevato in modo da apprezzare dM , ossia $dOut=a \cdot dM$ deve essere “facilmente misurabile”)
 - Ripetibilità (l'errore di ripetibilità deve essere inferiore a $dOut=a \cdot dM$)
 - Risoluzione (la risoluzione del sensore deve essere migliore di dM)
 - M_{\min} , M_{\max} , dM (dM = risoluzione della misura, minima variazione apprezzabile)

- ❑ Sceglie il modulo del PLC (ingresso In , out $N=2^n(In-In_{\min})/(In_{\max}-In_{\min})$ in modo che:
 - Gli ingressi In siano adatti a Out_{\min} e Out_{\max} senza perdita di range ($In_{\min} < Out_{\min}$ e $Out_{\max} < In_{\max}$ ma $(Out_{\max}-Out_{\min})/(In_{\max}-In_{\min}) > 1/2^m$ con m piccolo (tip. $m < 3$)
 - Il numero di bit n sia adeguato a dM , ossia $(In_{\max}-In_{\min})/2^n < dOut = a \cdot dM$

- ❑ Programma il PLC misurando N e stimando $\langle M \rangle = \left(\frac{N(In_{\max} - In_{\min})}{2^n} - b \right) \frac{1}{a}$

SENSORI: CARATTERISTICHE DINAMICHE

- ❑ **Le caratteristiche dinamiche in un sensore descrivono il suo comportamento in condizioni di variazioni (rapide) dell'ingresso con il tempo.**
 - **Tempo di risposta del sensore -> “errore”**

- ❑ **Risposta in frequenza [\pm ..% da ..a..Hz]**
variazione del rapporto fra ampiezza di uscita e di ingresso (differenza fra fase di ingresso e di uscita) al variare della frequenza entro una prefissata banda

- ❑ **Risposta nel tempo [s]**
Caratterizza la risposta del dispositivo ad una variazione dell'ingresso con il tempo
 - **Tempo di risposta = tempo in cui l'uscita raggiunge 95% o 98% del valore finale**
 - **Tempo di salita = tempo in cui l'uscita va dal 10% al 90% del valore finale**
 - **Costante di tempo = tempo in cui l'uscita raggiunge il 63% del valore finale**

SENSORI: CARATTERISTICHE AMBIENTALI E DI AFFIDABILITA'

- ❑ **Errore di temperatura [%FSO]**
massimo scostamento dell'uscita a parità di ingresso al variare della temperatura in un determinato range

- ❑ **Errore di vibrazioni [%FSO]**
massimo scostamento dell'uscita a parità di ingresso quando al sensore sono applicate vibrazioni di ampiezza e frequenza prefissate

- ❑ **Affidabilità**
 - **MTBF (Mean Time Between Failure) -> tempo medio al guasto**
 - **Tempo medio al degrado (degrado = mancata osservanza di alcune caratteristiche di funzionamento)**

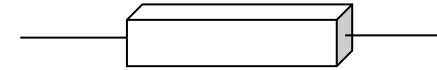
SENSORI RESISTIVI (*)

❑ La variazione del misurando genera una variazione di resistenza



❑ La resistenza R [Ω] di un parallelepipedo è $R = \rho * l / s$

- ρ è la resistività del materiale [$\Omega * m$] e $\rho = \rho(T)$
- l è la lunghezza [m]
- s la sezione [m^2]



❑ Sensori a variazione di:

- lunghezza (Es. potenziometri)
- resistività per effetti termici (termoresistori Es. PT100)
- resistività per mobilità dei portatori (sensori chimici)
- lunghezza e sezione (Es. estensimetri)

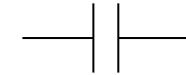
❑ Elettronica di condizionamento:

- Applico corrente e misuro tensione
- Inserzione in schemi a ponte
- Rumore $v^2 = 4kTR\Delta f$ ($k = 1.38 * 10^{-23} JK^{-1}$, Δf = banda della misura)

NOTA: se uso la tensione del sistema di acquisizione ho una misura raziometrica

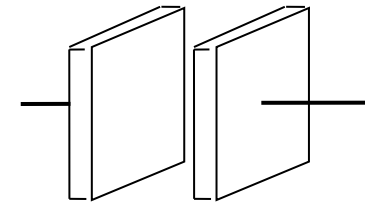
SENSORI CAPACITIVI (*)

❑ La variazione del misurando genera una variazione di capacità



❑ La capacità C [F] di un condensatore a facce piane è $C=Q/V=\epsilon_0\epsilon_r A/d$

- ϵ_0 è la permittività assoluta (costante dielettrica)
- ϵ_r è la permittività relativa del mezzo tra le armature
- A è l'area delle facce [m²]
- d è la distanza tra le facce [m]



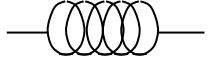
❑ Sensori a variazione di:

- distanza d , area A (Es. sensori di spostamento lineare/angolare)
- permittività relativa ϵ_r (Es. sensori chimici, di umidità, di livello)
 - nota: $\epsilon_r = \epsilon_r(T, f)$
 - ϵ_r decresce al crescere della temperatura T o al crescere della frequenza f

❑ Elettronica di condizionamento:

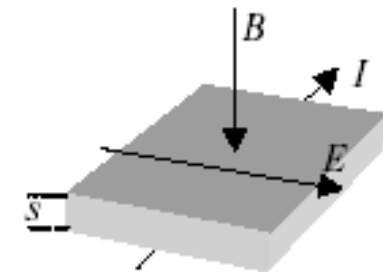
- Inserimento in circuiti oscillanti

SENSORI INDUTTIVI (*)

- ❑ La variazione del misurando genera una variazione di induttanza 
- ❑ Se subiscono una variazione di corrente dI , gli induttori rispondono con una forza elettromotrice V che si oppone a dI in modo proporzionale all'induttanza $L[H]$, secondo la legge $V = -L di/dt$
- ❑ Per un induttore $L = \mu_0 \mu_r A n^2 / l$
 - $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ è la permeabilità assoluta del vuoto
 - μ_r è la permeabilità relativa del nucleo
 - n è il numero delle spire
 - A è la sezione [m^2]
 - l lunghezza dell'induttore [m]
- ❑ Sensori a variazione di:
 - dimensioni, numero di spire o μ_r del nucleo (Es. sensori di spostamento)
- ❑ Elettronica di condizionamento: (circuiti oscillanti)

SENSORI MAGNETICI (*)

- ❑ La variazione del misurando genera una variazione di campo magnetico o di f.e.m.
- ❑ Sensori basati sul principio del generatore (legge di Faraday)
 - Noto B e la lunghezza l del conduttore, misurando f.e.m. stimo la velocità v
- ❑ Sensori magnetostrittivi
(I materiali magnetostrittivi sottoposti a campo magnetico subiscono variazioni dimensionali) -> sensori di forza, di spostamento
- ❑ Sensori magnetoresistivi
(I materiali magnetoresistivi sottoposti a campo magnetico variano la resistenza)
- ❑ Sensori Hall (campo magnetico, posizione, corrente)
(se in un conduttore di spessore s viene fatta passare una corrente I perpendicolare ad un campo magnetico esterno B , si genera una differenza di potenziale $E = K * I * B / s$)
- ❑ Sensori di prossimità (proximity)
(Se un oggetto metallico entra nel campo del sensore, si attiva un'uscita logica)



SENSORI PIEZOELETTRICI (*)

- ❑ **L'effetto piezoelettrico (*piezo=fare pressione*) descrive la caratteristica di alcuni materiali di generare cariche elettriche quando sono sottoposti a sollecitazioni**
 - **Forza -> deformazione del reticolo -> eccesso di carica superficiale -> f.e.m.**
 - **Effetto reversibile**
 - **I materiali sono elettricamente neutri in assenza di variazioni di sollecitazioni**
 - **Sensori di forza, pressione, spostamento**
 - **Elevata sensibilità alla temperatura**

SENSORI TERMOELETTRICI (*)

- ❑ **Sensori di temperatura**
 - **Sensori termoresistivi (PT100, PT1000)**
 - **Sensori basati sull'effetto Seebeck, Peltier, Thomson**
- La variazione di temperatura si traduce in variazione di f.e.m. (Es. termocoppia)**

SENSORI CHEMIELETTRICI (*)

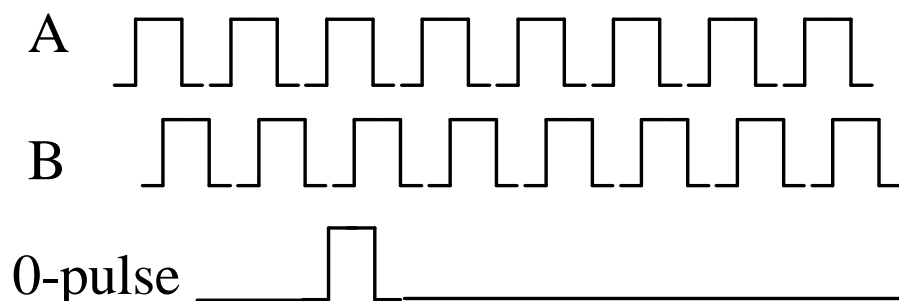
- ❑ **Descrivono la proprietà di alcuni elementi o composti di variare le proprie caratteristiche elettriche quando sono interessati da particolari reazioni chimiche**
 - **Utilizzati per rilevare la presenza e la concentrazione di specifiche sostanze**

SENSORI FOTOELETTRICI (*)

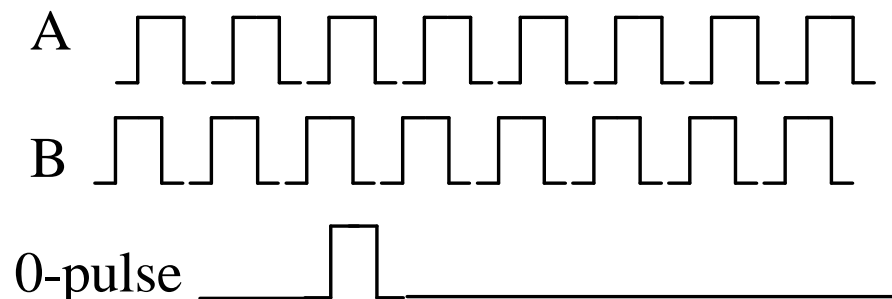
- ❑ **L'effetto fotoelettrico descrive la peculiarità dei materiali o di emettere elettroni o di variare la propria conducibilità quando assorbono energia luminosa**
 - **Fotone -> generazione di elettroni liberi (effetto fotoelettrico)**
 - **Fotone -> aumento conduttività (effetto fotoconduttivo)**
 - **Fotone -> comparsa di f.e.m. (effetto fotovoltaico)**
 - **Sensori di luce (esposimetri), fotodiodi, fototransistori, cellule fotoelettriche utilizzati per rilevazione di luce per stime di distanza, presenza**

ENCODER OTTICI INCREMENTALI

- ❑ **Misure di posizione e velocità**
- ❑ **Dispositivi che forniscono un segnale ad onda quadra con m impulsi per ogni giro**
 - **velocità angolare = w -> frequenza di uscita = $m*w$**
 - **3 segnali di uscita:**
 - **due segnali in quadratura per posizione, velocità e verso di rotazione**
 - **un impulso di zero per la ricostruzione della posizione assoluta**
 - **elettronica di condizionamento veloce (circuiti di conteggio)**



AVANTI



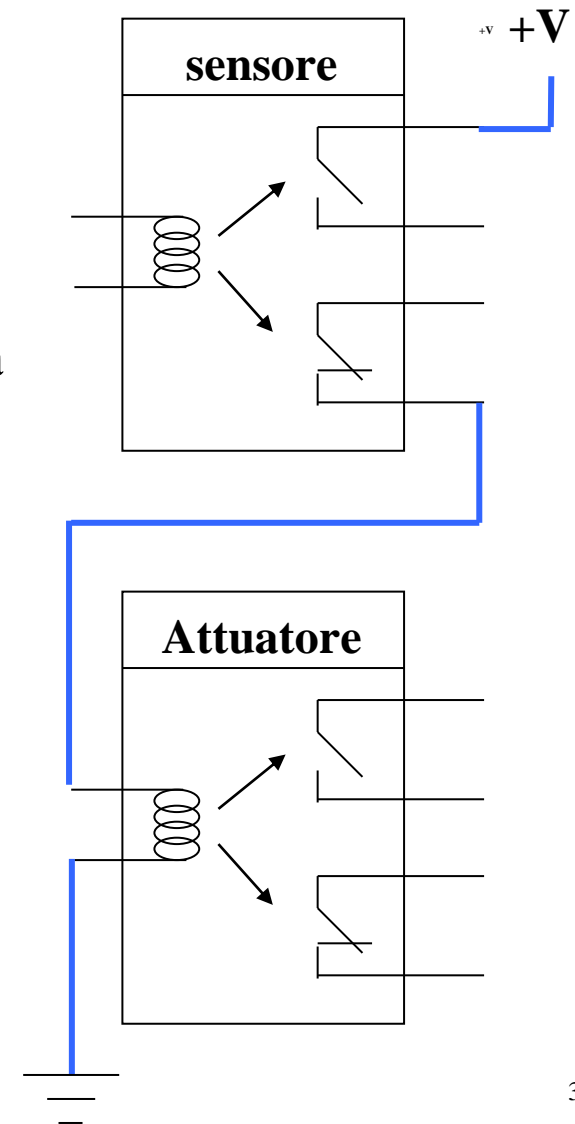
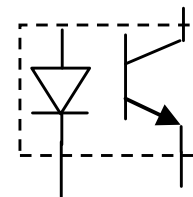
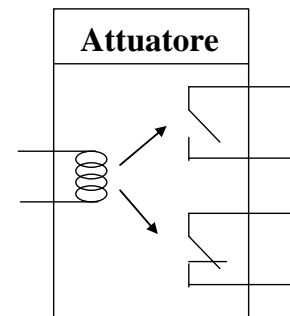
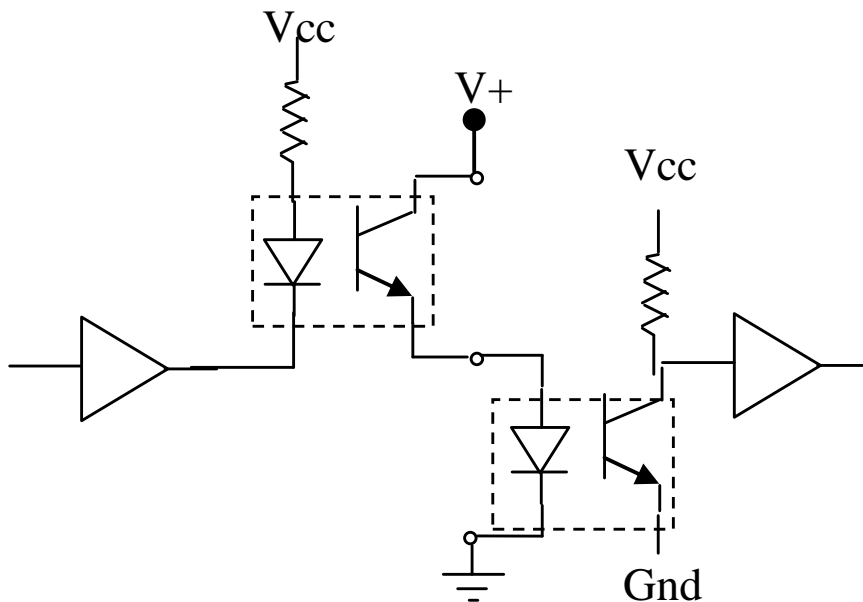
INDIETRO

- ❑ **Elettronica di condizionamento: contatori**

MODALITA' DI INTERFACCIAMENTO DI SENSORI/ATTUATORI

❑ Sensori/attuatori discreti (ON/OFF)

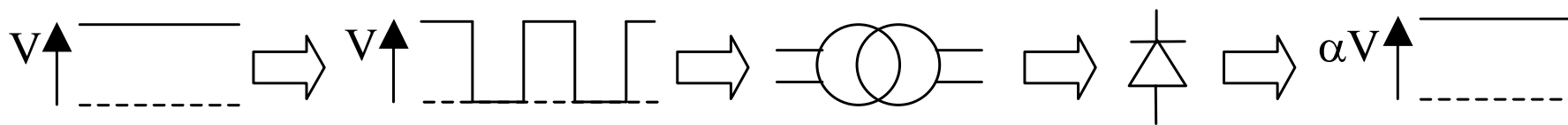
- Applico tensione e verifico passaggio di corrente
- Facile da trasmettere, facile da isolare
- Il relais è ingombrante, lento e dissipativo
- L'isolatore galvanico isola (1500V) ma ha meno potenza



MODALITA' DI INTERFACCIAMENTO DI SENSORI/ATTUATORI

❑ Sensori/attuatori continui (uscita 0-5V)

- Difficile da isolare e da trasmettere



❑ Sensori/attuatori continui (uscita 4-20mA)

- la trasmissione in corrente, rispetto a quella in tensione, è più robusta
- integra la diagnostica verso la situazione di strappo cavi

❑ Sensori/attuatori continui (uscita in frequenza o in duty cycle)

- il segnale da trasmettere è “digitale” ma richiede circuiti di misura del tempo e della frequenza (contatori veloci)

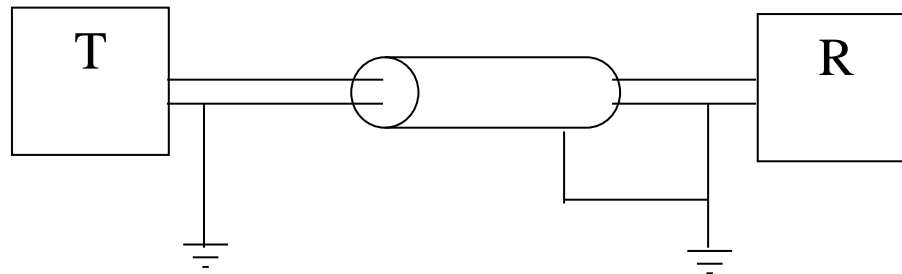
MODALITA' DI INTERFACCIAMENTO DI SENSORI/ATTUATORI: LA DIAGNOSTICA

- ❑ **La connessione di un sensore non è “per sempre”**
 - **Il sensore si può rompere e**
 - Deve poter essere sostituito (plug&play) anche se con diversa caratteristica
 - Devo poter distinguere le lavorazioni fatte con il “vecchio” dal “nuovo”
 - ...
- ❑ **Durante la fase operativa di lavoro**
 - **Un sensore di temperatura trasmette solo la temperatura e non riceve comandi**
- ❑ **Durante la messa in servizio e/o la diagnostica**
 - **Un sensore di temperatura può comunicare la sua identificazione, la T_{min} associata a 4mA e la T_{max} (20mA)**
- ❑ **Una trasmissione numerica punto-a-punto (tipo USB) implica un protocollo comune ed è più costosa di un'interfaccia 4-20mA**

Serve una semplice interfaccia numerica a basso costo

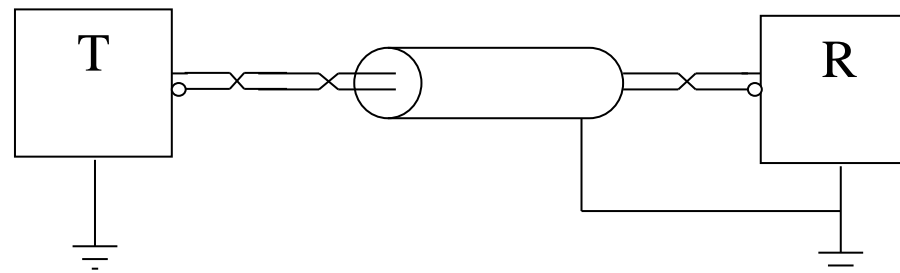
MEZZI TRASMISSIVI: doppino intrecciato (*)

- ❑ **Trasmissione in tensione (può esservi sbilanciamento tra le masse)**



- ❑ **Trasmissione in corrente bilanciata (tanta corrente esce, tanta corrente entra)**

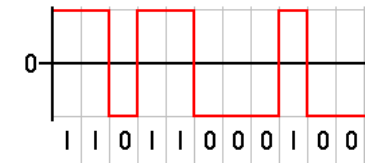
- **Basso costo**
- **Trasmissione/ricezione differenziale (immune ai disturbi di modo comune)**
- **Buona immunità al rumore elettromagnetico se intrecciato e schermato**
- **Richiede la trasmissione della massa per sicurezza**
- **Utilizzato nei sistemi di comunicazione seriale di tipo UART (es. RS485)**



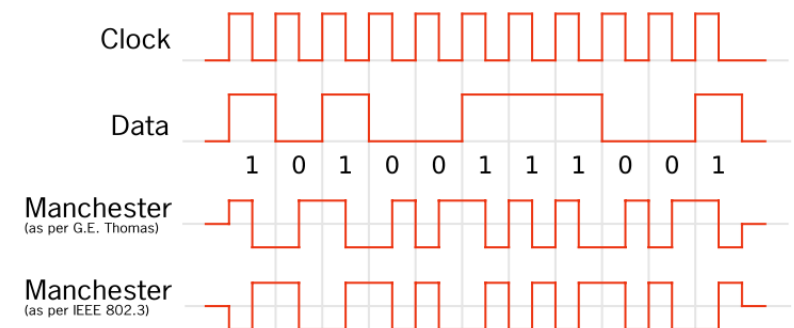
L'INTERFACCIA UART: RS232, RS485 (*)

- ❑ L'interfaccia UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) è presente in molti microcontrollori ed è considerata l'interfaccia numerica più semplice
 - L'informazione è un byte, preceduto da uno StartBit (=0) e seguito da un opzionale bit di parità (pari o dispari) e da un bit di Stop (=1)

- ❑ L'interfaccia UART nei processori è normalmente implementata in codifica Non Return to Zero



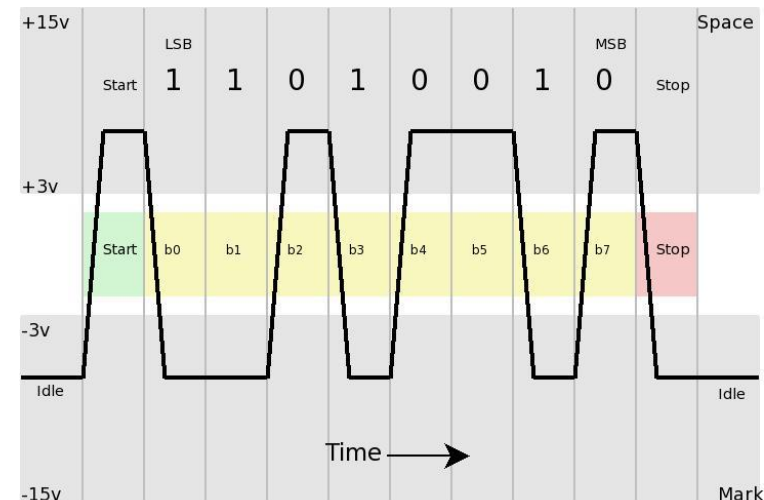
- “0” = segnale a massa per un tempo di bit Tbit
- (Bitrate=1/Tbit)
- “1” = segnale a Vcc (5V, 3.3V,..) per Tbit
- Ma ci possono essere altri modi di codifica
- (es. Manchester



- ❑ La codifica NRZ è incompatibile con la trasmissione su alcuni mezzi trasmissivi (es. fibra ottica) e ha una componente continua (non può essere “filtrata”)
 - E' usata nella RS232 e nella RS485

STANDARD EIA RS232 (*)

- ❑ Uno degli standard più “datati” (1969, RS232c CCITT V.24) e longevi
- ❑ Definisce l’interfaccia tra un DTE (Data Terminal Equipment -Es. una stampante-) e un DCE (Data Communication Equipment -Es. un'interfaccia su una rete di comunicazioni a maggiore complessita')
- ❑ Prevede un “handshake” hardware per il controllo di flusso della comunicazione (linee Request-to-send, Clear-to-send, Data-terminal-ready,...)
 - poco utilizzato (più utilizzati i protocolli SW –Es. XON/XOFF-)
- ❑ Trasmissione asincrona punto-a-punto
- ❑ Modalità prevalente: “full duplex”
Max 15m, max 19200baud
- ❑ Trasmissione in tensione a 12V
(Mark = da -15V a -3V)

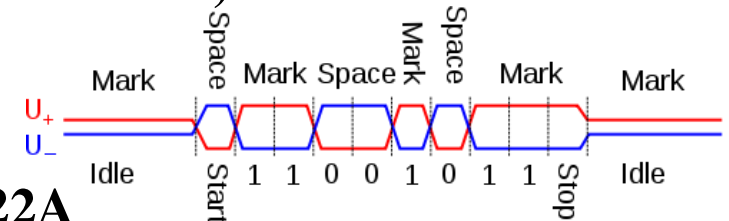


RS422A (1976) (*)

- ❑ **Trasmissione differenziale su doppino intrecciato (+Tx, -Tx) con linea di massa**
- ❑ **Livello di “SPACE” (“0”) = (+Tx=+5V, -Tx=0V)**
Livello di MARK (“1”) = (+Tx=0V, -Tx=+5V)
- ❑ **Lunghezza massima del collegamento = 1200m ($f < 100\text{kHz}$)**
- ❑ **Frequenza massima di trasmissione = 10MHz ($L < 10\text{m}$)**
(F_{max} dipende da T_{rise} – $F_{\text{max}} < 0.1/T_{\text{rise}}$ –, che dipende da C_l , che dipende da L)
- ❑ **Connettore non specificato (Tip. DB15), Full-duplex**
- ❑ **Driver (Es. 3487)**
 - **FAN-OUT = 10 (uscite 3-state non protette, $I_{\text{sc,max}} = 0.15\text{mA}$)**
 - **Impedenza di carico = 100Ω**
- ❑ **Receiver (Es. 3486)**
 - **Sensibilità alla commutazione di circa $\pm 200\text{mV}$**

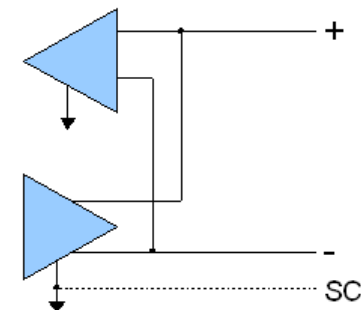
RS485A, CCITT V11 (1983, MOLTO USATO ANCORA OGGI) *

- ❑ **Compatibile con RS422A,**
utilizzato in SCSI-2 e SCSI-3 (Small Computer System Interface, hard disk)
- ❑ **Dedicato alla multiutenza (32 drivers + 32 receivers)**
protezione conflitto tx (limitazione corrente, shutdown termico)
- ❑ **Applicazioni full-duplex e, soprattutto, half-duplex**
- ❑ **Frequenza massima di trasmissione e lunghezza RS422A**
($F_{max} < 0.3 / T_{rise}$, rispetto a RS422A consente fronti meno ripidi)
- ❑ **Connettore non specificato (Tip. DB15)**



- ❑ **Transceiver (Es. 74176) (opera in tre modalità - 2 linee di controllo -):**

Enable	Direction	Modalità
0	X	alta impedenza
1	0	ricevitore
1	1	trasmettitore (3-state abilitato)



MODULAZIONI (*)

❑ Modulazione di ampiezza (AM)

- Facile, poco immune ai disturbi, sensori

❑ Modulazione di frequenza (FM)

- Facile, immune ai disturbi, potenza portante

❑ Modulazione di fase (PM)

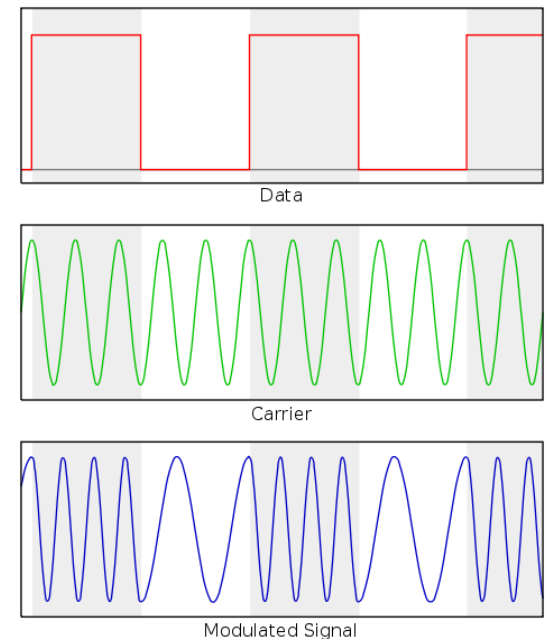
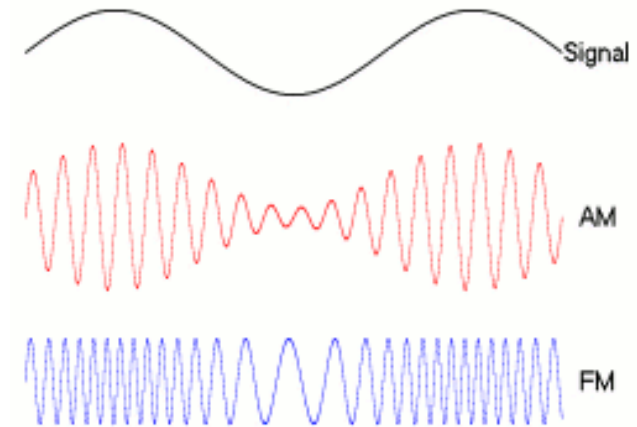
- Complicata, poco usata

❑ Modulazione digitale di ampiezza (Amplitude-Shift Keying)

- Facile, poco immune ai disturbi, fibra ottica (on-off-keying)

❑ Modulazione digitale di frequenza (Frequency-Shift Keying)

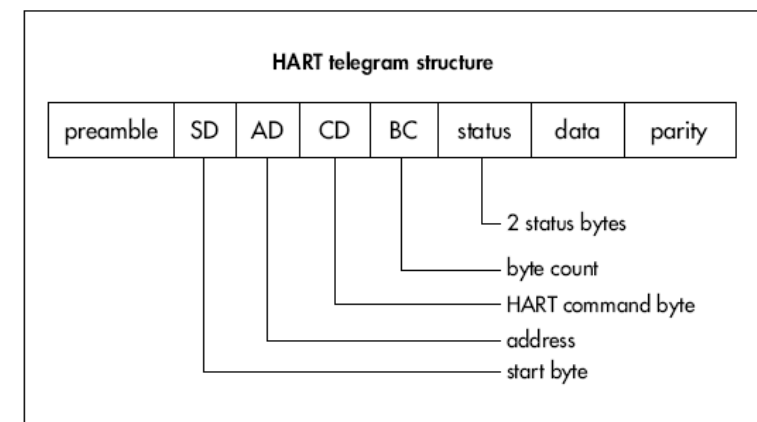
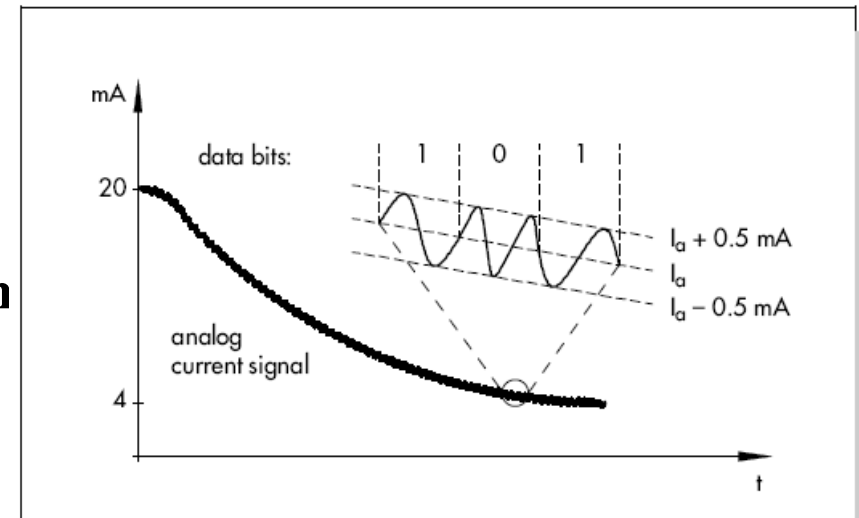
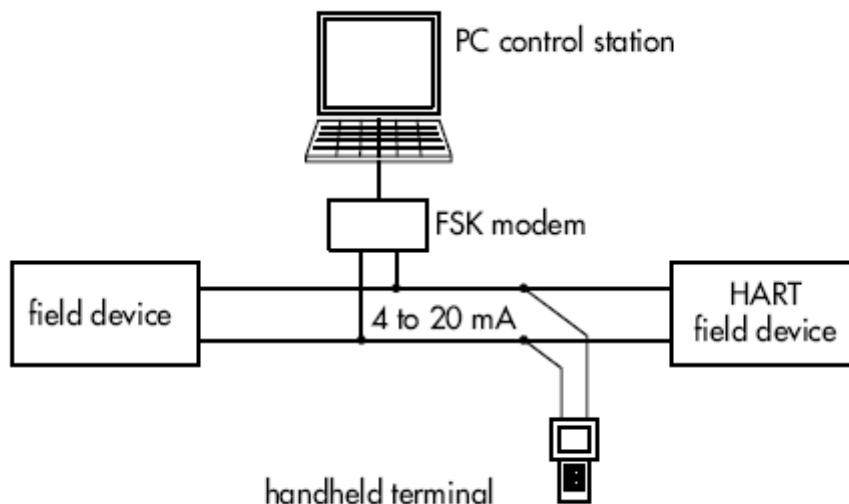
- Facile, immune ai disturbi
- Variante MSK (Minimum-shift keying)
- “ammorbisce” i salti di frequenza



INTERFACCIA HART: il primo successo http://it.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol_what.html

❑ Sovrappone alla trasmissione analogica 4-20mA una trasmissione UART a 11bit

- Trasmissione dati diagnostici/configurazione
- Modem FSK (Frequency Shift Keying)
- “0”: 2200Hz, “1”: 1200Hz
- Data rate: 1200bit/s, fino a 15 dispositivi
- ~500ms per master telegram + slave telegram
- Oggi wirelessHART e bus di campo



USCITA DEL SENSORE E SISTEMA DI ELABORAZIONE

❑ Sensori “grezzi”

- resistenza
- capacità
- induttanza
- tensione AC o DC
- corrente AC o DC
-

❑ Sensori “condizionati”

- tensione 0-10V, 0-5V, $2V \pm 1V$, ...
- corrente 0-20mA, 4-20mA
- frequenza

❑ Sensori “intelligenti”

- uscita seriale SPI, I²C, RS232 o RS485
- bus di campo
- USB, Ethernet, wireless

Esempio: termoresistore

Esistono vari tipi di sensori basati sullo stesso elemento sensibile

1) termoresistore di valore

- 100Ω a 0°C , - 138Ω a 100°C
- costo: 1 euro (non calibrato)

2) Strumento con uscita in tensione

- 1 V a 0°C
- 1.5 V a 100°C
- costo: 10 euro

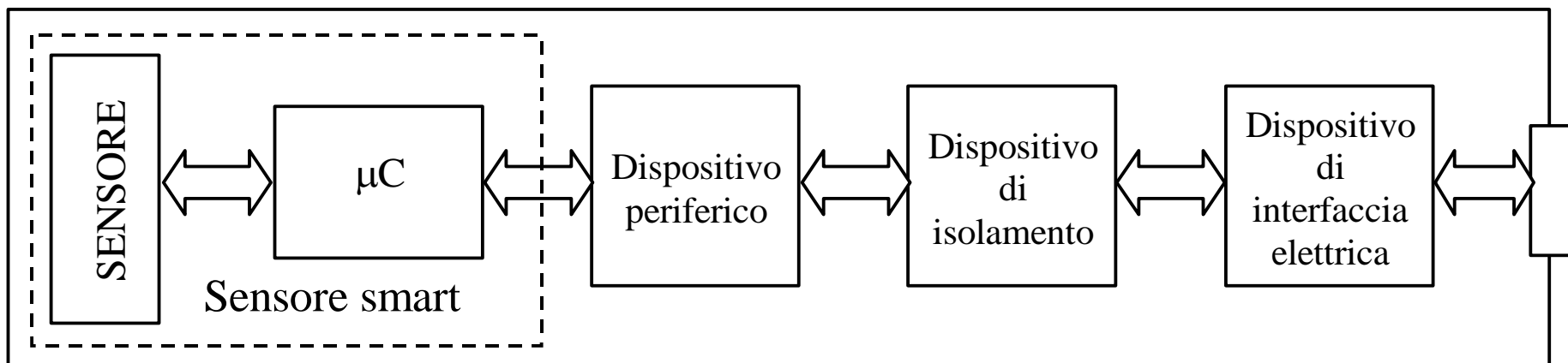
3) Strumento con uscita su bus di campo

- 0.00 a 0°C
- 100.00 a 100°C
- costo: 50 euro

NOTA: il PLC ha moduli di ingresso 0-10V (si provi a calcolare la risoluzione in gradi)

SENSORI SMART E BUS DI CAMPO

- ❑ Il sensore dispone già di un microcontrollore (μC)
 - Il μC è a basso costo e compensa le “imperfezioni” del sensore (es. linearità)
- ❑ Il sensore smart ha un microcontrollore (μC) e un’interfaccia di comunicazione
 - Bus di campo -> semplice protocollo -> gestibile dallo stesso μC
 - Bus di campo diffuso -> disponibilità di dispositivi periferici a basso costo
 - Limitati costi HW diretti (costi indiretti, peso del protocollo sul μC)
 - Gestibile a livello di opzione



INTERFACCE SU BUS DI CAMPO x SENSORI TRADIZIONALI

❑ Moduli “concentratori” (Ingressi/uscite remotati)

- Dispositivi che acquisiscono il sensore con uscita analogica (0-5V, 4-20mA,..) proprio come un modulo locale di ingressi analogici, lo convertono in digitale, incapsulano l’informazione in un protocollo di comunicazione –il bus di campo- e inviano al PC che riceve e mette a disposizione le informazioni su IPI
- E’ ben diverso da un sensore smart
 - No diagnostica
 - No altre informazioni



BUS DI CAMPO

- ❑ **IEC61158: normativa a livello internazionale (supporta più tipologie)**
 - **Comunicazioni tra PLC, sensori e attuatori**
 - **Architetture master-slave (distribuzione degli I/O e più che dell'elaborazione)**
 - **Determinismo, ossia ridotto tempo di latenza della risposta**
 - **Messaggistica semplice (tip. <10 bytes)**
 - **Numero utenti limitato (~10)**
 - **Definiti ai livelli ISO/OSI 1,2,7**
 - **Semplici algoritmi di autodiagnostica e autoconfigurazione**
 - **Primi bus di campo proprietari negli anni '80**
 - **Proliferazione di soluzioni incompatibili tra loro.... E i costruttori di sensori?**
- ❑ **Sensore con varie possibilità di bus di campo e... 4-20mA**

PLURALITA' DEI BUS DI CAMPO

- ❑ **Ogni costruttore di componenti per l'automazione ha creato il suo bus di campo “imponendolo” come standard sulla base della sua forza di mercato**
- ❑ **BitBus IEEE 1118, 1991, 1200m a 375kbit/s, 28 users**
(Sfrutta il protocollo SDLC di Ethernet e quindi vi si interfaccia “naturalmente”)
- ❑ **Interbus-S DIN 19258, 1984, 400m/stazione a 500kbit/s, 256 users**
(Struttura ad anello invece che a stella, autoconfigurazione)
- ❑ **Lon Works, 1991, 2km a 1.25Mbit/s, 100 “nodi”**
(Struttura neurale –processori paralleli-, riguarda tutti i livelli ISO-OSI)
- ❑ **WorldFIP, EN 50170, 1988, 750m a 1Mbit/s**
(Trasmette anche su onde radio)
- ❑ **.... NOTE: www.interfacebus.com**

NORMATIVE (*)

- ❑ **IEC 61158 (Fieldbus standard for use in industrial control system)**
 - **61158-2 Regolamentazione del livello fisico (ottimo per controllo di processo)**
 - **61158-3 Regolamentazione del livello dati (DLL)**
 - **IEC 61158-3**
 - **ControlNet**
 - **Profibus**
 - **P-NET**
 - **Fieldbus Foundation –High Speed Ethernet**
 - **SwiftNet**
 - **Worldfip**
 - **Interbus**
 - **?**
- ❑ **IEC 62026 (Low voltage switchgear and controlgear –Controller/Device Interface-)**
 - **AS-I, DeviceNet, Smart Distributed Systems**
- ❑ **...e vi sono altre normative per le soluzioni basate su Ethernet/Internet**

NON E' POSSIBILE AVERE UN UNICO BUS DI CAMPO

Il leader del mercato: PROFIBUS (PROcess FIeld BUS)

- ❑ **Profibus FMS (Fieldbus Message Specification), 1991**
 - Implementato nei livelli ISO-OSI 1,2,7
 - Comunicazione tra i processi a livello di cella, multi-master (token-passing)
 - Versatile (grande varietà di applicazioni)
- ❑ **Profibus DP (Device Peripheral), 1994**
 - Implementato nei livelli ISO-OSI 1,2 (linee guida “users” invece del livello 7)
 - Comunicazione tra i processi a livello di campo (sensori, attuatori,..)
 - Più veloce, efficiente (meno master, meno dati per pacchetto) ed economico
 - Plug and play
- ❑ **Profibus PA (Process Automation), 1995**
 - Implementato nei livelli ISO-OSI 1,2 (linee guida “users” invece del livello 7)
 - Tecnologia trasmissiva IEC 1158-2 invece di RS485 o fibra ottica
 - Alimentazione fornita dal bus (sicurezza intrinseca)
- ❑ **Profinet 2001**
 - Integrazione tra Profibus e le tecnologie Ethernet e IT (Information Tech)

NOTA: www.profibus.com

PROFIBUS (*)

❑ Organizzazioni

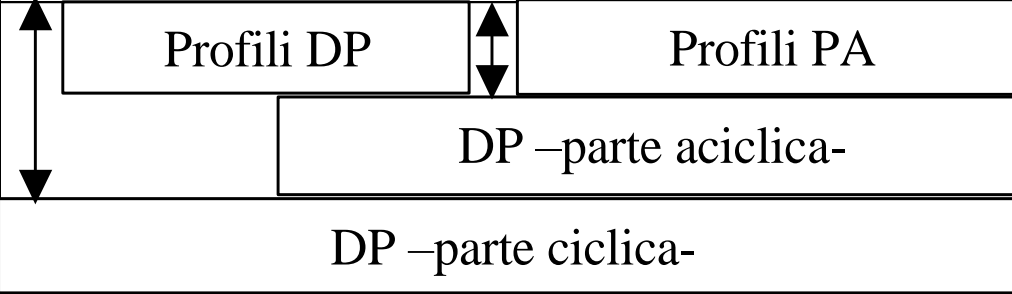
- **Profibus Trade Organization (PTO)**
- **Profibus User Organization (PNO)**
- **Profibus International (PI)**
- **Profibus Network Italia (PNI) con Centro di Competenza a Brescia**

❑ Normative

- **standard tedesco secondo la normativa DIN 19245 (1991)**
- **standard europeo secondo la normativa EN 50170 (1996)**
- **standard internazionale IEC (International Electrotechnical Commission)**
 - **IEC 61158 (bus di campo per uso industriale) tipo 3 (Profinet tipo 10)**
 - **IEC 61178 (profili sopra il livello 7 ISO/OSI)**
 - **CPF (Communication Profile Family) 3/1 per Profibus-DP**
 - **CPF (Communication Profile Family) 3/2 per Profibus-PA**
 - **CPF (Communication Profile Family) 3/3 per Profinet**

PROFIBUS E LIVELLI ISO/OSI (*)

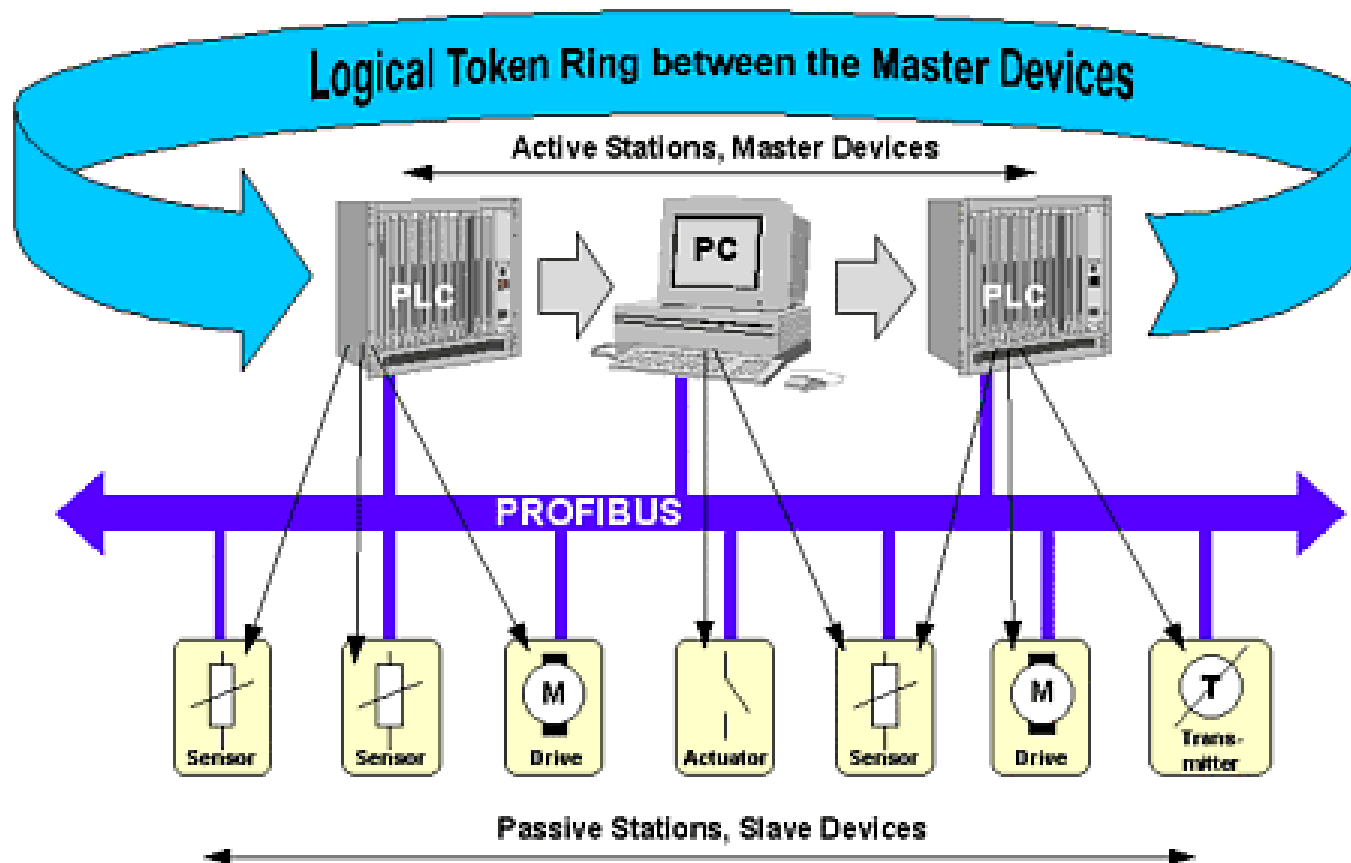
❑ Profibus-DP, PA: implementazione ai livelli 1,2 e utente

ISO/OSI	FMS	DP		PA
User	Profili FMS			
7	FMS	-		
3-6	-			
2	Fieldbus Data Link (FDL)			IEC interface
1	RS-485 Fibra ottica (plastica, vetro, PCF -Photonic Crystal Fiber-)		IEC61158-2 MPB (Manchester Encoded Powered Bus)	

❑ Profibus-DP: fisico (PHY), dati (FDL) e Direct Data Link Mapper (DDLMM) verso il livello utente e i profili

PROFIBUS-DP: architettura master-slave

- DPM1 (master di tipo 1): gestione degli slave a gruppi disgiunti
- DPM2 (master di tipo 2): funzioni di diagnostica e programmazione
- Slave (stazioni passive): accedono al bus solo se richiesto dal master



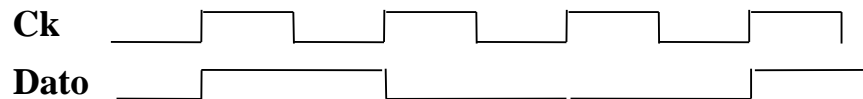
PROFIBUS: GENERALITA'

❑ Accesso al bus di tipo deterministico

- Ciascuno degli N master è autorizzato alla trasmissione per un tempo prestabilito T
- L'autorizzazione a trasmettere (token) viene allocata secondo una sequenza prestabilita (Tip. sequenza circolare –round robin–)
- Massimo tempo di attesa di un messaggio $\approx N \cdot T$ (determinismo)
- Manca una logica di priorità per favorire i messaggi urgenti
- Elevata affidabilità purchè si sorvegli il token

❑ RS485 o fibra ottica (127 utenti, 100m, 9.6kbaud-12Mbaud)

- Trasmissione asincrona (Start-bit, D7-D0, Parity-bit, Stop-bit) Efficienza=8/11
- Codifica dei segnali NRZ (Non Return to Zero)

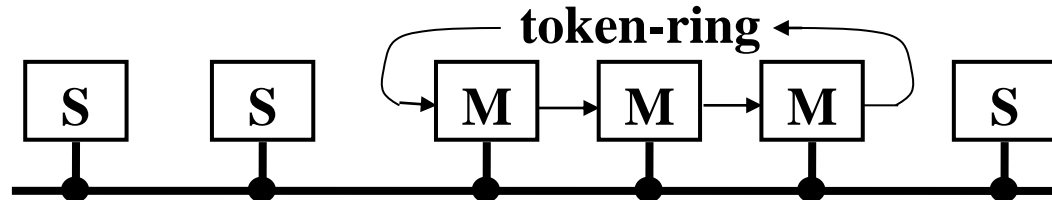


❑ Definito solo ai livelli 1,2,7

- Livello applicazione: definizione di “profili” per la standardizzazione dei dati

PROFIBUS

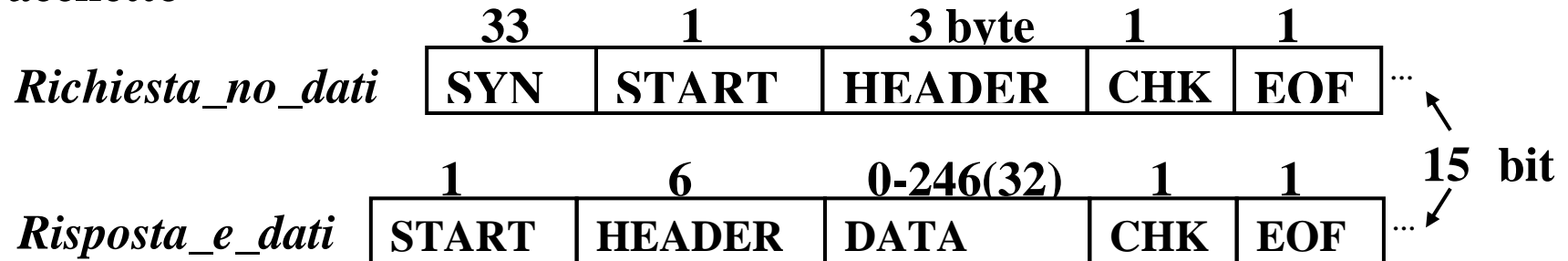
- **MASTER-SLAVE**
(Gli Slave parlano solo se interrogati)



- **Trasmissione asincrona con parità**
(riduzione del data-rate di 8/11)



- **Pacchetto**



- **Informazione: 2 byte** **Tipo rete: PROFIBUS-DP @ 12Mbit/s**

$$T_{PRF} = T_{req} + T_{resp} + T_{if} = ((6 + 9 + 2) \times 11 + 48) \times T_{bit} = 20 \mu s$$

$$\eta_{PRF} = \frac{2 \times 8 \times T_{bit}}{((6 + 9 + 2) \times 11 + 48) \times T_{bit}} \approx 9.4\%$$

$$Data - rate = \frac{1}{T_{PRF}} = 50 kword / s$$

PROFIBUS-DP, PHY: tecnologie trasmissive (*)

❑ RS485

- **Standard EIA (Electronic Industries Association), 1983**
- **Fino a 32 ricetrasmittitori 3-state**
- **Trasmissione differenziale bilanciata ± 5 V**
- **uscita protetta rispetto all'abilitazione accidentale di due trasmettitori**
- **Frequenza massima di trasmissione $100\text{kHz} < f_{\text{max}} < 10\text{MHz}$ dipendente dalla lunghezza del cavo (max. 4000m)**

❑ Fibra ottica

- **Cavo economico di accoppiamento in fibra ottica di plastica per interno in applicazioni di ridotte estensioni (distanze inferiori ai 50 m).**
- **Cavo LWL (dal tedesco Lichtwellenleiter “conduttore di onde luminose”) in fibra in vetro per interno ed esterno con distanze inferiori al chilometro.**
- **Connettori speciali che integrano convertitori da fibra ottica a RS485 e viceversa**

PROFIBUS (PHY): RS485, cavi (*)

❑ Due tipologie di cavo (cavo B in disuso)

PARAMETRI	Cavo tipo A	Cavo tipo B
Impedenza caratteristica Z_w	da 135 a 165 Ω $f \in [3 \text{ MHz}, 20 \text{ MHz}]$	Da 100 a 130 Ω $f > 100 \text{ MHz}$
Capacità C'	$< 30 \text{ pf/m}$	$< 60 \text{ pf/m}$
Resistenza R'	110 Ω/km	-
Diametro	$> 0,64 \text{ mm}$	$> 0,53 \text{ mm}$
Area sezione	$> 0,34 \text{ mm}^2$	$> 0,22 \text{ mm}^2$

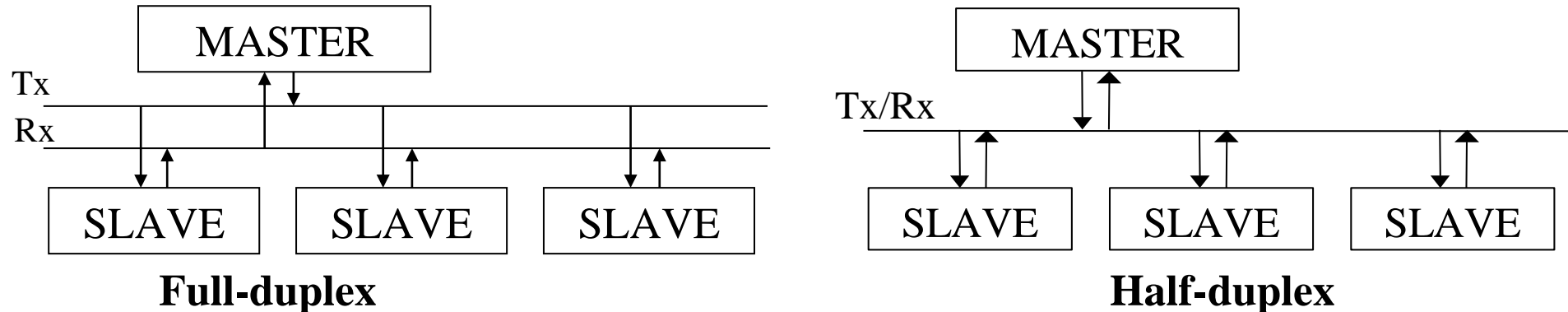
❑ La massima distanza dipende dalla frequenza

Baud rate (kbit/s)	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1500	12000
Lungh. Cavo tipo A (m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100
Lungh. Cavo tipo B (m)	1200	1200	1200	600	200	70	-

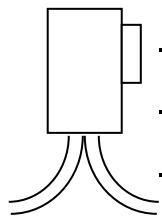
- tempo di salita $tr < 0.3T = 0.3/f_{max}$
- $tr \approx R' * C' * L^2 \approx 3ps * L^2[m]$ $f_{max}[MHz] < 0.3/10^6 tr \approx 10^5/L^2[m]$
 Es. $L=100m \rightarrow f_{max} < 10MHz$, $L=1000m \rightarrow f_{max} < 100kHz$

PROFIBUS (PHY): RS485, connettore (*)

❑ Modalità di connessione half duplex (connettore uguale per master o slave)



❑ Connettore del cavo Sub d 9 poli maschio (femmina sul device)



- **Linea a $\pm 24V$ (min. 100mA)**
- **Schermo a massa del device**
- **“1” -> +5V (3) e DGND (8)**
- **“0” -> DGND (3) e +5V (8)**
- **Connettore con 2 cavi**
- **Derivazioni (stub) da evitare**
- **Ripetitori (->126 nodi)**
- **Capacità nodo 15-25pF**

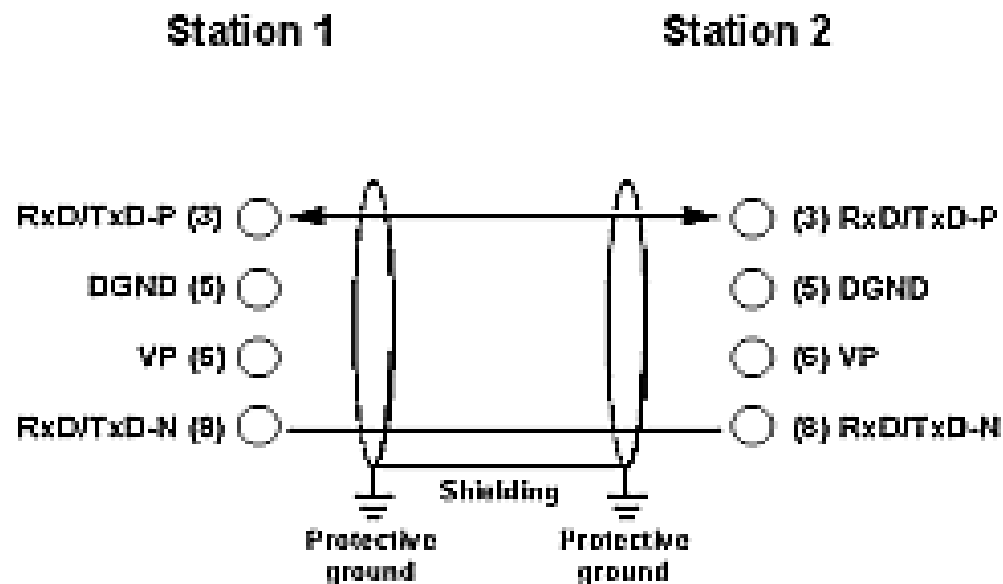
N° pin	Nome segnale	Significato
1*	SHIELD	Protezione EMC
2*	M24V	Tensione di uscita – 24V
3	RxD/TxD-P	Ricezione/trasmissione dati (B)
4*	CNTR-P	Controllo per ripetitori
5	DGND	Massa di Vp
6**	VP	Tensione positiva +5V
7*	P24V	Tensione di uscita + 24V
8	RxD/TxD-N	Ricezione/trasmissione dati (A)
9*	CNTR-N	Controllo per ripetitori

*) segnali opzionali **) segnale necessario solo per le stazioni di fine bus

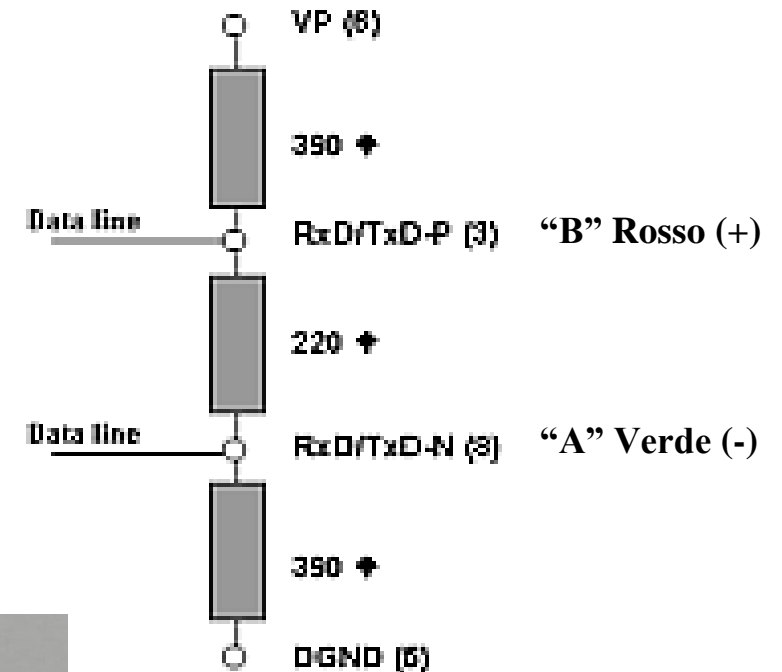
PROFIBUS (PHY): RS485, terminazioni (*)

❑ Terminazioni

- Si attivano ai capi della linea per limitare l'effetto delle riflessioni
- Per frequenze elevate è opportuno disaccoppiare il ricetrasmettitore mediante induttanze ($L=110\text{nH}$) in serie



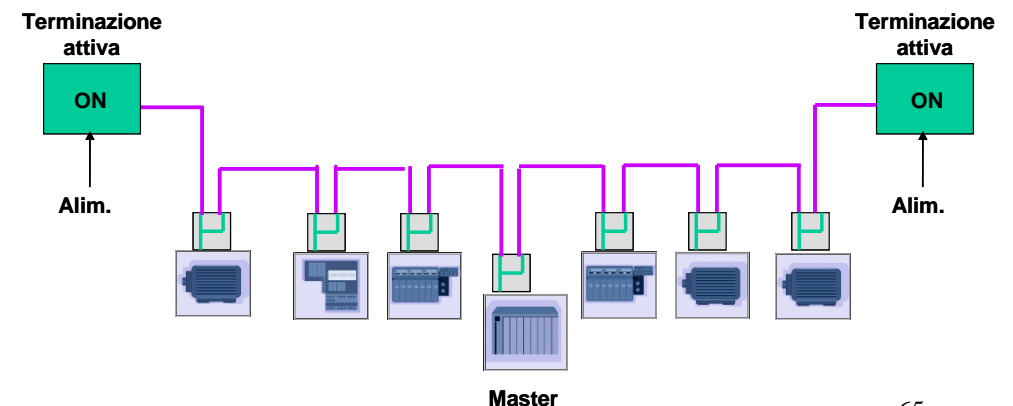
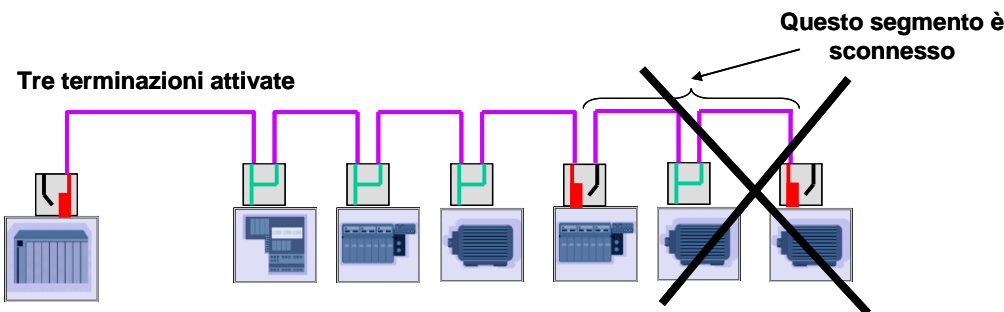
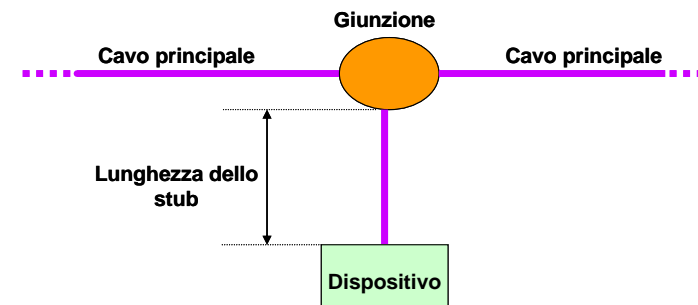
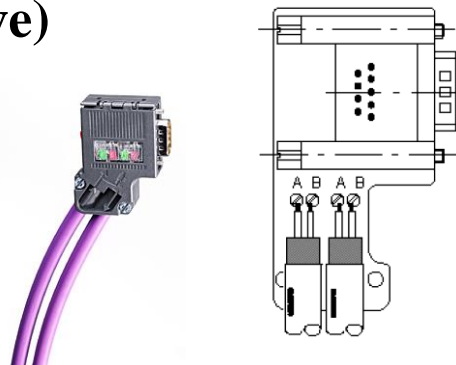
Cabling



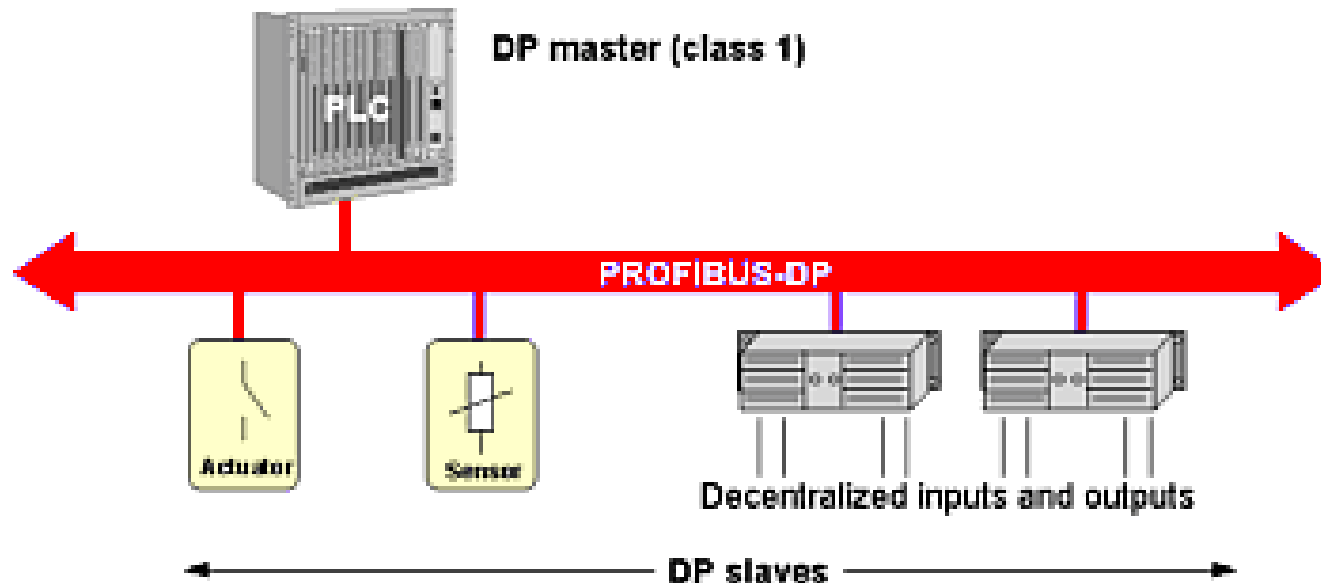
Bus termination

PROFIBUS (PHY): connettori e terminazioni attive (*)

- ❑ Problematiche di cablaggio (molto rilevanti a elevate frequenze di trasmissione)
 - Tenere gli “stub” corti (sconsigliati) e i cavi lunghi (>1m)
 - Connettori con terminazioni per topologie lineari
 - I dispositivi (e le terminazioni) devono essere alimentati
 - Attivare terminazioni intermedie o disalimentare nodi può creare problemi (terminazioni attive)

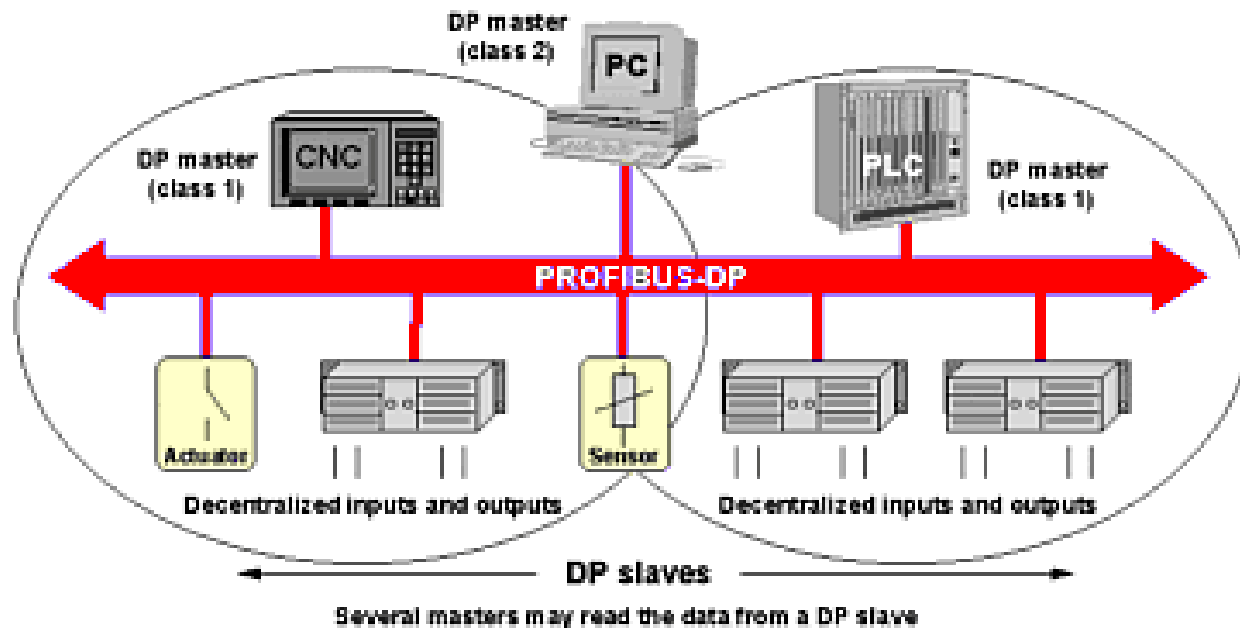


PROFIBUS-DP: applicazioni mono-master (le più diffuse)



- ❑ 1 master e fino a 124 slaves (indirizzamento da dip switch o SW)
 - Indirizzi speciali: 127 (broadcast), 126 (default), 0 (diagnostica), 1 (DPM1)
- ❑ Massime prestazioni a 12Mbaud ($T_{\text{bit}}=83\text{ns}$, $T_{\text{byte}}=11T_{\text{bit}}=0.917\mu\text{s} \sim 1\mu\text{s}$)
 - Gli slave vengono scanditi ciclicamente
 - Ogni slave occupa un tempo T_{mc} pari alla somma del messaggio di richiesta e out data e del messaggio di risposta (in data). $T_{\text{mc}} \sim 28\mu\text{s} + T_{\text{data I/O}}$
 - $T_{\text{ciclo}} \sim N_{\text{slave}}(28\mu\text{s} + T_{\text{data I/O}})$ Es. $N_{\text{slave}}=32$, $T_{\text{data I/O}}=4\text{byte}$, $T_{\text{ciclo}} \sim 1\text{ms}$

PROFIBUS-DP: multimaster



❑ Token passing

(ciascun master gestisce le proprie comunicazioni per metà del tempo di token)

- Ogni slave può essere letto da ogni master, ma appartiene ad un solo DPM1
- Lista dinamica dei master attivi (This, Next, Previous)
- Plug&play: ogni nodo attivo deve rilevare eventuali nodi tra TS e NS

❑ Stati di un DPM1:

Stop (non comunica con gli slave), Clear (out slave in sicurezza), Operate (scambia dati con gli slave)

PROFIBUS-DP: FDL, servizi di trasmissione (*)

❑ 2 tipi di servizi di trasmissione

- **SDN (Invio di dati senza conferma, utilizzato per la comunicazione broadcast o multicast)**
 - **SYNC/UNSYNC** (i dati relativi alle uscite vengono effettivamente scritti nelle uscite solo all'istante del prossimo comando di sync)
 - **FREEZE/UNFREEZE** (gli ingressi non vengono più aggiornati fino al prossimo comando di freeze)
- **SRD (Invio e richiesta dati con conferma, con scambio bidirezionale di dati in un solo ciclo di telegramma)**
 - il master invia i dati in uscita allo slave e riceve in risposta entro un tempo specificato o i dati in ingresso un telegramma di conferma breve (“E5”)
 - i dati sono visti dal master e dallo slave come immagini di processo

❑ Frame o messaggio o telegramma

Sequenza di bytes adiacenti preceduti da un periodo di inattività (3Tbit=SYN)

PROFIBUS-DP: Tempi di ciclo (*)

- Verifica temporizzazioni (esempio: slave con 4+2 bytes di input/out, 12Mbaud)

Da master a slave: $T_{syn} + T(\text{frame di richiesta lunghezza variabile -9 byte- e dati})$

Da slave a master: $T_{sdr} + T(\text{frame risposta lunghezza variabile -9 byte- e dati}) +$
 $+ T_{id1}(\text{tempo prima di poter trasmettere un altro telegramma})$

$T_{syn}=33\text{bit}$ $T_{sdr}=\text{risposta slave (11..800Tbit -> 30Tbit)}$ $T_{id}=75\text{Tbit}$

$T_{mc} = \text{tempo slave} = 33+9*11+D_{out}*11+30+9*11+D_{in}*11+75 = 336\text{Tbit}+11(D_{in}+D_{out})$
 $= 28\mu s + (D_{in}+D_{out})*0.917\mu s \sim 28\mu s + (D_{in}+D_{out})*1\mu s$

$T_{ciclo} = \text{somma dei } T_{mc} \text{ di tutti gli } N_s \text{ slave} = N_s*28\mu s + \Sigma(D_{in}+D_{out})*1\mu s$

Normalmente si hanno tempi di ciclo nell'ordine del ms

PROFIBUS-DP: DDLM (*)

❑ Direct Data Link Mapper

- **Gestione degli scambi dati mediante i punti di accesso ai servizi (SAP)**
 - **Default, SSAP/DSAP assenti (Data_exchange)**
 - **SAP54 comunicazione master-master (Get_master_diag)**
 - **SAP55 cambio indirizzo nodo (Set_Slave_Address)**
 - **SAP56 Lettura ingressi (Read_Inputs)**
 - **SAP57 Lettura uscite (Read_Outputs)**
 - **SAP58 Comandi di controllo a uno slave DP (Global_Control)**
 - **SAP59 Lettura configurazione (Get_Cfg)**
 - **SAP60 Lettura dati diagnostici (Slave_diagnosis)**
 - **SAP61 Trasmissione parametri (Set_Prm)**
 - **SAP62 Verifica parametri (Chk_Prm)**
 -

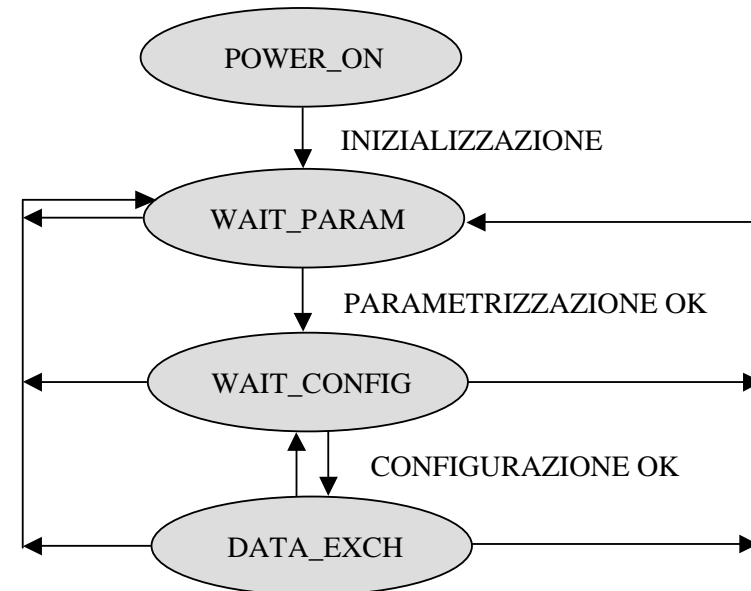
❑ Ad esempio, per cambiare l'indirizzo di uno slave, un DPM2 usa DSAP=SAP55 (SSAP=SAP62) con campo dati che contiene il nuovo indirizzo e l'identificatore (16 bit rilasciati dal consorzio Profibus)

❑ Diagnosi a livello di device, module, channel

PROFIBUS-DP: slave

❑ Macchina a stati

- **Inizializzazione**
 - **Indirizzazione** (Set_slave_address)
- **Parametrizzazione** (Set_prm,Get_Cfg,Slave_diag)
 - **Identificazione**
 - **Supporto delle funzionalità**
- **Configurazione** (Chk_Cfg,Slave_diag)
 - **Numero di byte di I/O**
- **Scambio dati** (Read_inputs, Read_outputs)
 - **Controllo Watchdog**



❑ Alla partenza il master:

- **Interroga lo slave** (DDL_M_Slave_diag) per vederne lo stato (c'è, è gestito da DPM2,..)
- **Lo parametrizza** (DDL_M_Set_Prm)
- **Ne verifica i dati di configurazione** (DDL_M_Chk_Cfg)
- **Quindi se va tutto bene passa alla fase di scambio dati** (DDL_M_Data_Exchange) altrimenti ricomincia

PROFIBUS-DP: plug&play grazie al file GSD

❑ **File GSD = data sheet elettronico (device description file)**

- **File ASCII che contiene le informazioni dello slave o del DPM1 (Es. Baud rate supportati, servizi supportati, lunghezza dei dati, caratteristiche dinamiche – Tsdr = tempo max, dopo il quale lo slave deve rispondere-,...).**
- **Informazioni necessarie e informazioni opzionali**
- **Viene caricato nel DPM2 e permette la completa gestione del device**

#Profibus_DP

Vendor_Name = "UNIBS"

Ident_Number = 0x05AD

Station_Type = 0 (0=slave, 1=master)

9.6_supp = 1

45.45_supp = 1

1.5M_supp = 1 (non supporta 12Mbaud)

MaxTsdr_19.2 = 60

Freeze_Mode_Supp = 1

Fail_Safe = 1

GSD_Revision = 1

Model_Name = "PROVA"

Protocol_Ident = 0 (non supporta FMS)

Hardware_Release = "V3.2"

19.2_supp = 1

500_supp = 1

MaxTsdr_9.6 = 60

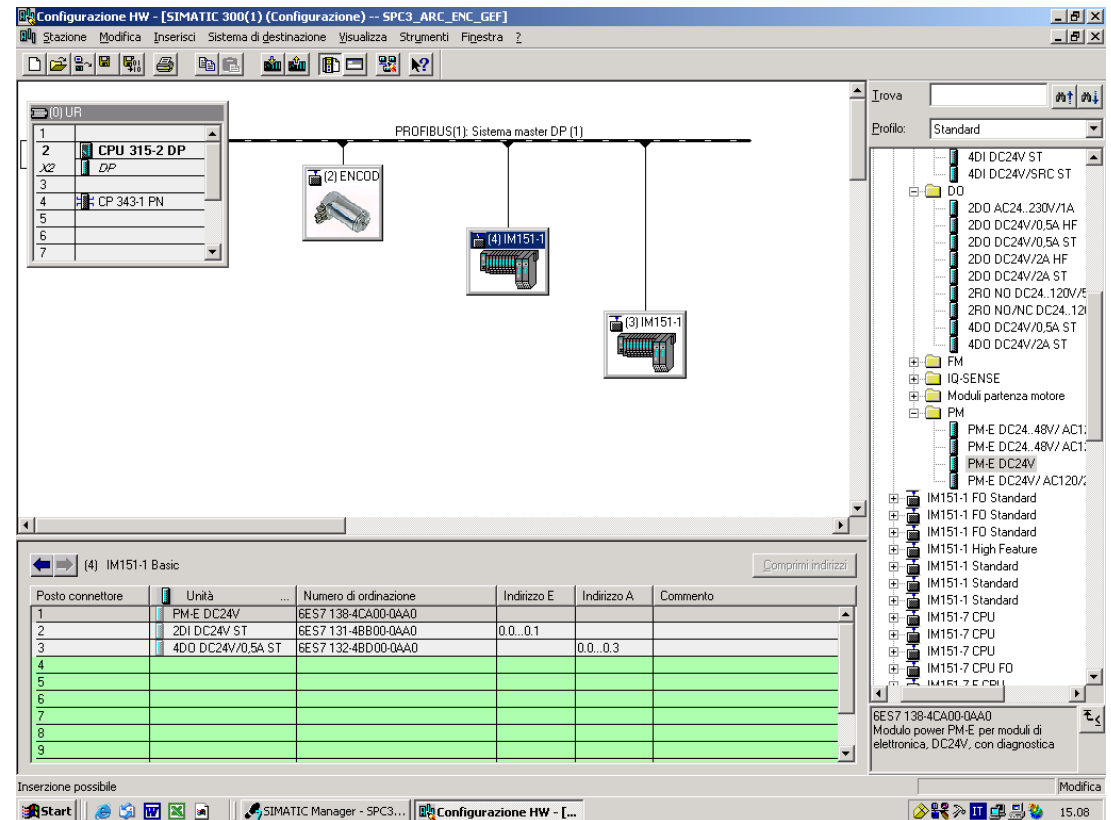
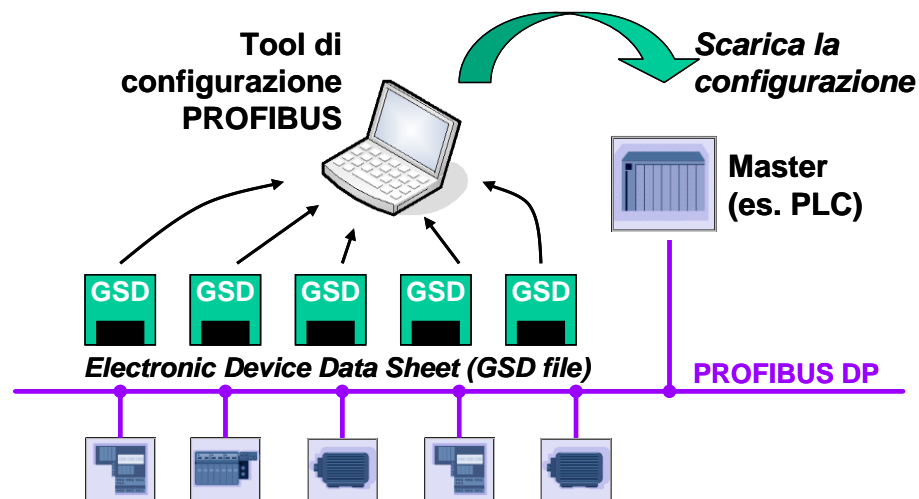
MaxTsdr_1.5M = 150

Sync_Mode_Supp = 1...

Implementation_Type= "SPC3"

PROFIBUS-DP: configurazione

- ❑ Ogni produttore descrive il suo nodo attraverso il file GSD
 - Tutti i GSD sono caricati per generare la configurazione di sistema (così come quando configuro il PLC devo dire quali moduli di I/O sono connessi alla CPU)
 - vedi www.profibus.com/meta/productguide



PROFIBUS-DP: profili

- ❑ **Profilo = definizione delle caratteristiche e delle proprietà di un'applicazione**
 - **Profili generali (General application profiles)**
 - **Es. PROFIsafe (come i dispositivi di emergenza comunicano su Profibus)**
 - Numerazione progressiva dei telegrammi
 - Timeout sugli acknowledge
 - Identificatori tra trasmettitore e ricevitore (password)
 - **Profili specifici (Specific application profiles)**
 - **Es. PROFIdrive (comportamento e accesso agli azionamenti. 6 classi)**
 - **Molte tipologie supportate (Fluid Power, Robots/NC, Panel devices, Encoders, Remote I/O, PA devices,...)**
 - **Profili di master e sistemi (System and master profiles)**
 - **Master profile (comunicazione ciclica, aciclica, isocronia, diagnosi, sincronizzazione, sicurezza)**
 - **System profile (include i profili dei master, ma anche le interfacce verso la programmazione –standardized Function Blocks IEC61131-3-, e le strategie di integrazione –GSD file, EDD, DTM)**

EDD = Electronic Device Description (~IEEE1451.2TEDS)

DTM=Device Type Manager (~driver)

LA SICUREZZA INTRINSECA

- ❑ **Safety e Security**
- ❑ **Le apparecchiature elettriche devono essere progettate in modo da non generare archi o scintille che possano innescare esplosioni, sia durante il normale funzionamento, sia in caso di guasto**
- ❑ **La sicurezza intrinseca si applica alle aree a rischio di esplosione, ossia in presenza di sostanze potenzialmente pericolose (Es. miscele di gas)**
- ❑ **Ossidazione, combustione ed esplosione sono reazioni esotermiche a diversa velocità di reazione. Esplosione \longleftrightarrow presenza contemporanea di:**
 - **Combustibile (gas, vapori o polveri)**
 - **Comburente (aria e ossigeno)**
 - **Energia di accensione elettrica o termica**
- ❑ **Le protezioni tendono ad eliminare una o più delle tre componenti**
- ❑ **Rischio accettabile: l'esplosione si innesca solo a causa di 2 eventi indipendenti a bassa probabilità**

PROFIBUS-PA

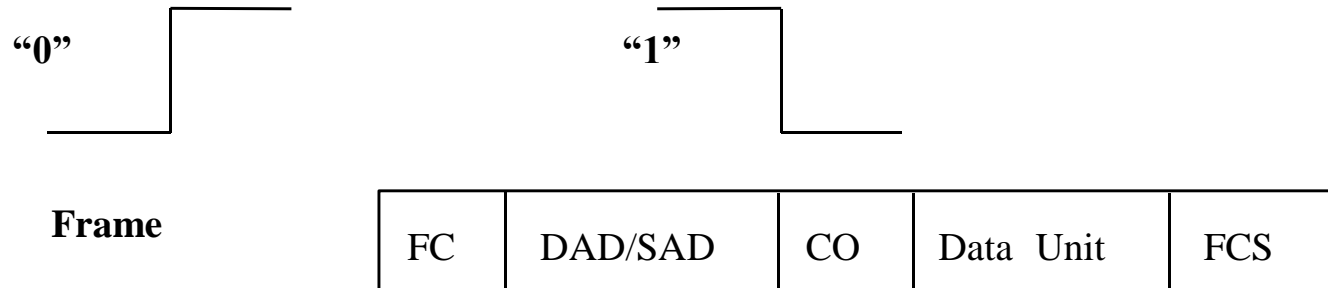
- ❑ Implementato nei livelli 1,2,Users (invece di 7)
 - 10 utenti, 1900m, 31.25kbaud, trasmissione sincrona (invece che asincrona)
 - utilizza la tecnologia trasmissiva IEC1158-2 a sicurezza intrinseca
 - alimentazione dal bus, possibilità di sostituzione dei componenti on-line
 - profili dedicati

Trasmissione dati	Digitale, codifica di Manchester, bit sincrono
Velocità di trasmissione	31,25 Kbit/s
Sicurezza dati	Preambolo, delimitatore finale, verifica di errore iniziale
Mezzo fisico	Coppia di conduttori attorcigliati (se necessario) schermati
Alimentazione remota	Opzionalmente attraverso la linea dati
Protezione alle esplosioni	Possibili operazioni in condizioni di sicurezza intrinseca e non
Topologia	Lineare, ad albero o miste
Numero stazioni	32 stazioni per segmento, max 126 con ripetitori
Ripetitori	Massimo 4 ripetitori

PROFIBUS-PA: FRAME (*)

❑ Codifica dei segnali Manchester (Invece che NRZ)

- Frame preceduto da un preambolo di sincronizzazione



FC Frame Control (Es. lunghezza pacchetto –1 o 4 byte-)

DAD/SAD Destination o Source Address (2 byte)

CO Control Field (tipo di frame –1byte-)

FCS Frame Check Sequence (2 byte)

- **5 tipi di frame**

- frame di lunghezza fissa senza dati (6 bytes)
- frame di lunghezza fissa con dati (14 bytes)
- frame di lunghezza variabile con dati (da 10 a 255 byte)
- Token (5 bytes)
- Ricevuta rapida (3 byte)

PROFIBUS-PA: PROFILI (*)

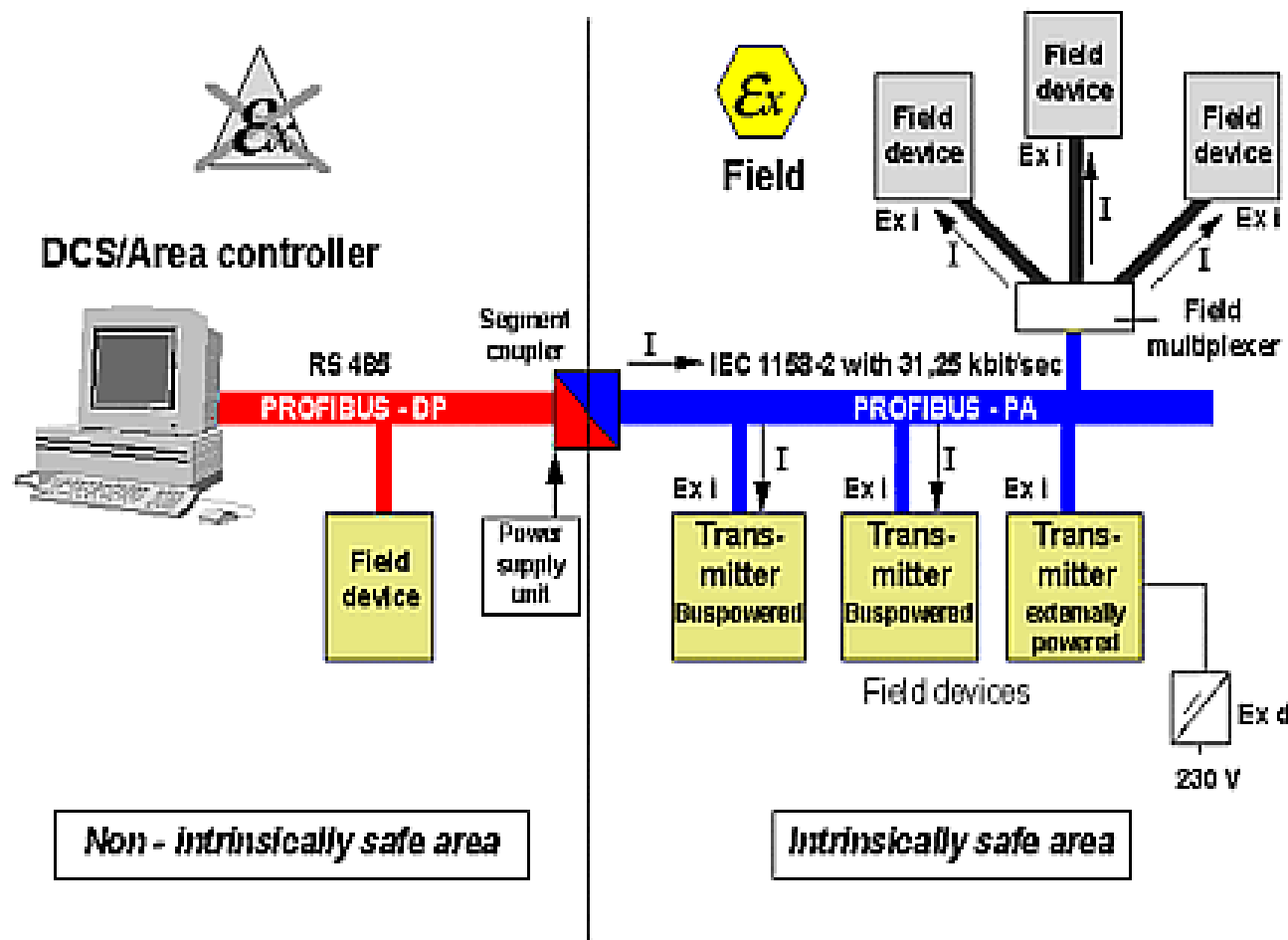
❑ Codifica dei segnali Manchester (Invece che NRZ)

- profili che usano un'interfaccia verso blocchi funzionali
- il comportamento del dispositivo viene descritto mediante delle variabili
- Es. analog input function block (sensore di pressione)

Parametro	Raed	Write	Funzione
OUT	x		Valore di pressione
PV_SCALE	x	x	Unità di scala
PV_FTIME	x	x	Tempo di salita (s)
ALARM_HYS	x	x	Isteresi delle funzioni di allarme (%FS)
HI_HI_LIM	x	x	Soglia superiore di allarme (alarm, status)
HI_LIM	x	x	Soglia superiore di warning (warning, status)
LO_LIM	x	x	Soglia inferiore di warning (warning, status)
LO_LO_LIM	x	x	Soglia inferiore di allarme (alarm, status)
...

PROFIBUS-DP: interfaccia verso PROFIBUS-PA

- ❑ I due protocolli differiscono per livello fisico, tipo di trasmissione e trame
 - Uso di bridge (nota: PA è molto più lento di DP)

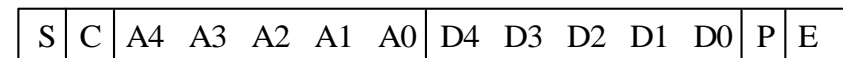


ACTUATOR SENSOR INTERFACE (ASI)

- ❑ Bus di campo dedicato a sensori e attuatori “binari” (versione semplificata di Profibus PA)
- ❑ Architettura mono-master (31 slaves, 4bit/slave, 100m, 167kbaud, doppino)
 - Codifica dei segnali Manchester
 - Serie di interrogazioni cicliche e, alla fine di ogni ciclo, selezione aciclica di uno slave alla volta
 - Codifica dei segnali Manchester

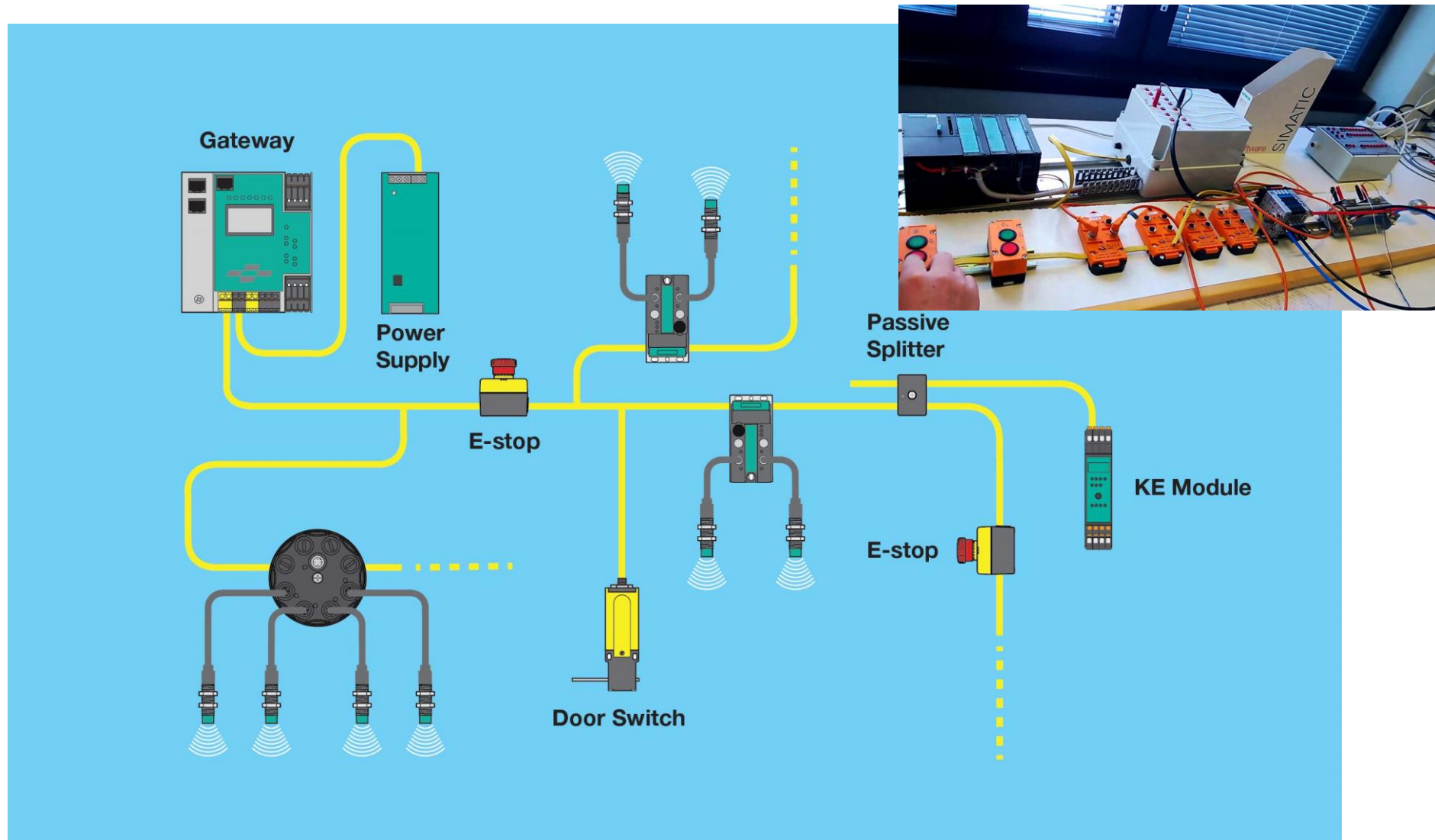


- MD Master Data (richiesta del master -chiamata dati, parametri, indirizzamento, comando)
E' composta da 14 bit (Start bit S=0, Control bit C, 5 address bit A_i, 5 data bit D_i, Parity bit P e end bit E=1).
- MP master pause
- SD slave data (Start S, D3-D0, Parity P, End E) -> Efficienza=1/(14+3+8+1)≈3.8%



NOTA: www.as-interface.com

ACTUATOR SENSOR INTERFACE (ASI)



Il più economico: CANbus2.0B (Controller Area Network)

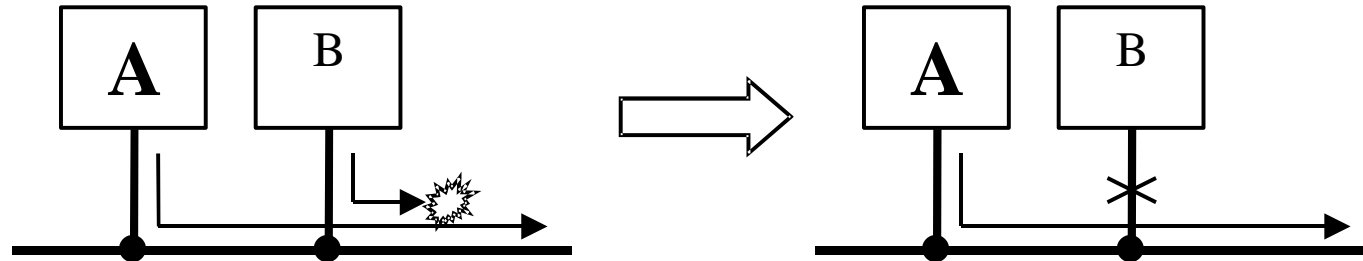
- ❑ **Sviluppato nel '85 dalla Bosh per il settore automobilistico.**
(CiA -CAN in Automation- dal 1992)
 - **NORMATIVE**

ISO 11519-1	Generalità e definizioni
ISO 11519-2	CAN fino a 125 Kbit/s
ISO 11898	CAN fino a 1 M bit/s
 - **Presente in molti microcontrollori (economico, aggiungo solo il trasformatore)**
 - **Bus ad accesso casuale (32 utenti, 50m, 1Mbaud)**
 - **Codifica dei segnali sincrona NRZ con piloti open-collector (vince lo zero)**
 - **CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoiding)**
 - **Livello fisico: doppino con trasmissione differenziale**
 - **Disconnessione automatica del nodo, ritrasmissione automatica in caso di errori**
 - **Supporta 4 tipi di frame:**

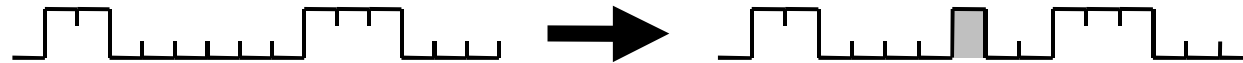
- Data (scambio dati)	- Remote (richiesta invio dati)
- Error (segnalazione errori)	- Overload (temporanea impossibilità a ricevere)
 - **Ad alto livello è supportato da CANOPEN (<https://www.can-cia.org/canopen/>) e da altri protocolli non open (es. DEVICENET)**

CANbus2.0B

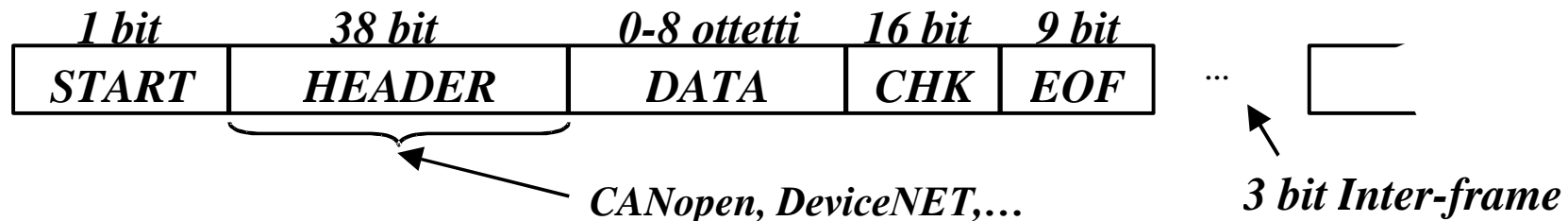
CSMA/CA



bit-stuffing



Pacchetto



Informazione: 2 byte

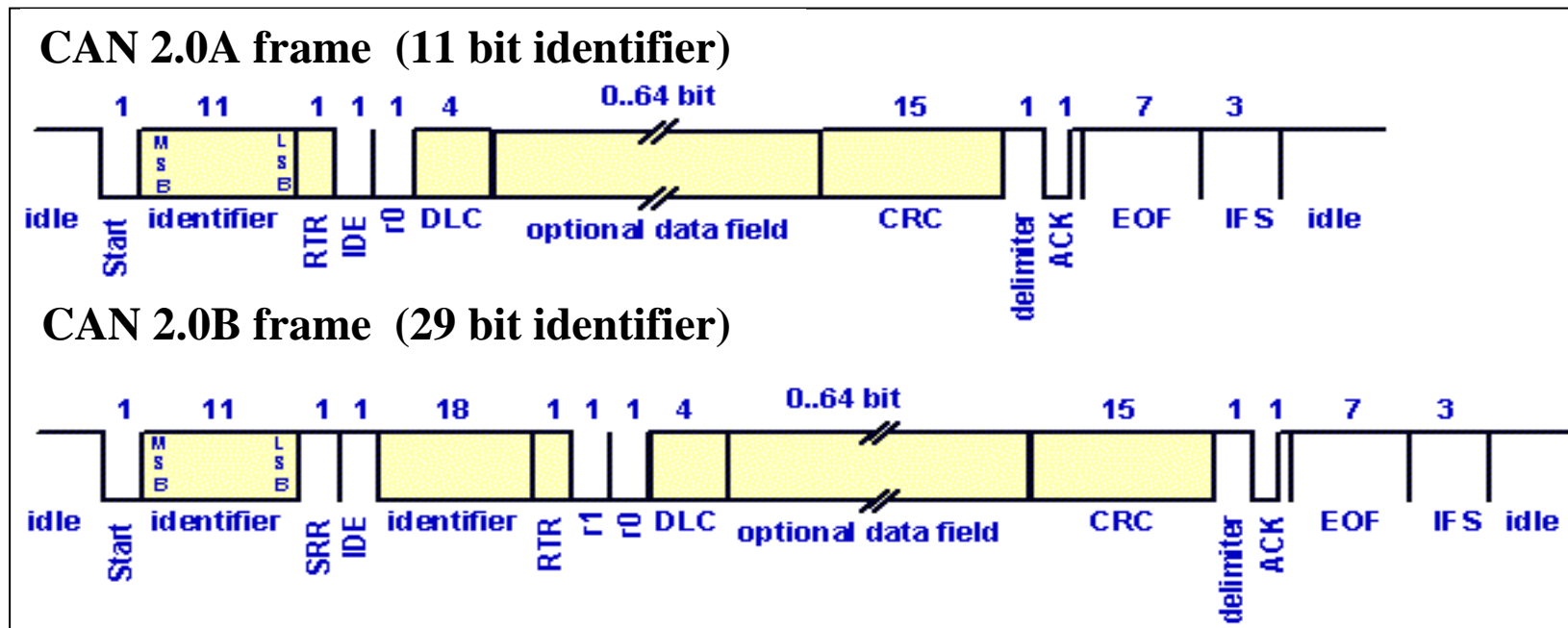
Tipo rete: CAN2.0B @ 1Mbit/s

$$T_{CAN} = (67 + 2 \times 8 + n_{stuf}) \times T_{bit} = 95 \mu s$$

$$\eta_{CAN} = \frac{2 \times 8 \times T_{bit}}{(67 + 2 \times 8 + n_{stuf}) \times T_{bit}} \approx 17\%$$

$$Data - rate = \frac{1}{T_{CAN}} = 10.5 \text{ kword} / s$$

LA TRAMA CAN (*)



- Più economico rispetto a Profibus (supportato da microcontrollori)
- I livelli applicazione (DeviceNet, CANopen, CANKingdom,...) operano a livello identificatore e dati

MODBUS

❑ Utilizzato dai sistemi di supervisione (SCADA)

Livello fisico:

- **Mezzo trasmissivo:**
seriale asincrono, ad esempio RS232, RS485 (half duplex o full duplex);
- **Velocità:** baud rate compresi tra 1200 e 19200;
- **Configurazione:** 8N1; (8 bit di dati, nessun bit di parità, 1 bit di stop);

Livello collegamento dati:

- un unico master sulla rete e fino a 247 slave;
- ogni slave ha un indirizzo univoco compreso tra 1 e 247;
- uno slave risponde solo ed esclusivamente dopo essere stato interrogato dal master;
- minimo overload.

Slave Address	Function	Data	Check
1 byte	1 byte	N byte	2 byte

NOTA: <http://www.modbus.org/>

MODBUS

❑ I livelli superiori

Livello applicazione:

01, 02	Lettura di n bit
03, 04	Lettura n word (registri)
05	Scrittura di un bit
06	Scrittura di una word (registro)
15	Scrittura di n bit
16	Scrittura di n word (registri)

Livello presentazione: Modbus/TCP (è il primo bus di campo su Ethernet)

- specifica come devono essere formattati i messaggi Modbus quando viaggiano sopra TCP/IP;
- standardizzazione della porta 502.

REAL-TIME ETHERNET (RTE)

- ❑ **Utilizzare Ethernet come bus di campo, il problema delle collisioni e del determinismo:**
 - **Gli switch prevengono le collisioni ma introducono ritardi variabili e imprevedibili**
 - **L'elevata velocità di Ethernet (6-123us per Ethernet 100BaseT) permette di avere comportamento real-time “statistico”**
 - **Il Time Division Multiple Access (TDMA) o le soluzioni master-slave assicurano il determinismo, in assenza di coesistenza con traffico TCP/IP**
 - **La sincronizzazione tra gli switch permette di regolare a priori il traffico**
 - **Switch speciali possono regolare il traffico secondo schemi prestabiliti**
 - **Il pacchetto Ethernet (1500 bytes) permette di ospitare un intero scambio dati ciclico**
 - **Esistono soluzioni software-based (es. Ethernet/IP, Powerlink)**
 - **Naturale evoluzione verso Gbit Ethernet e Wireless Ethernet**
 - **Basati su TDMA, richiedono firewall per il traffico TCP/IP**
 - **Esistono soluzioni hardware-based (es. Profinet, Ethercat)**
 - **Assicurano determinismo e ottime prestazioni**
 - **interfacce o infrastrutture dedicate, 100baseT**

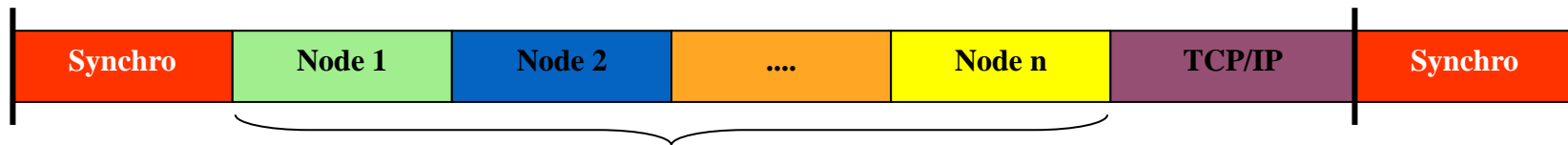
RTE: SOLUZIONI FULL-SOFTWARE

❑ TDMA (Time Division Multiple Access)

- Il mezzo fisico (cavo) è riservato interamente a una specifica RTE
- Il traffico TCP/IP (con banda ridottissima) può eventualmente essere gestito da router/gateway speciali

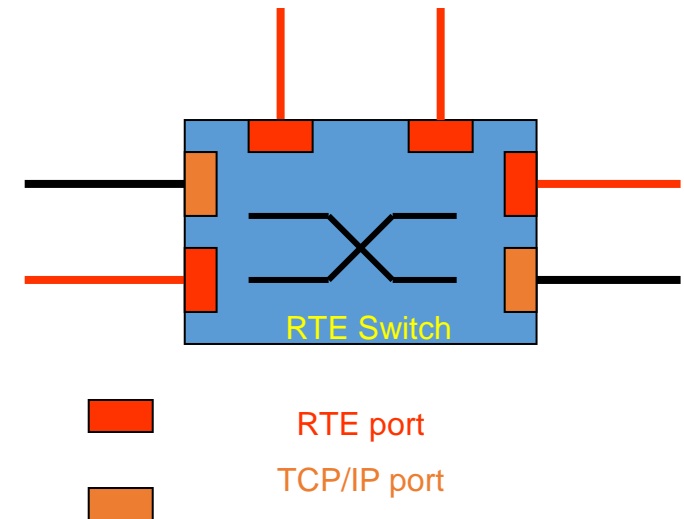
❑ Limitazioni e problemi

- Difficoltà nell'uso di dispositivi Ethernet “normali” (es. PC...)
- Compensazione dei ritardi dovuti ai cavi e agli switch
- Riduzione della banda reale rispetto all'infrastruttura installata



RTE: SOLUZIONI HARDWARE-BASED

- ❑ **“Enhanced Hardware” rispetto allo standard Ethernet IEEE802.3**
 - TDMA gestito in hardware dentro la scheda di rete
 - Dati modificati “al volo” dentro nei pacchetti ethernet
 - Switch speciali con regole di instradamento aggiuntive
 - Performance ottimizzate, compatibilità con traffico TCP/IP
- ❑ **Limitazioni e problemi**
 - Incompatibilità con altre RTE
 - Hardware proprietario (ASIC) e quindi soggetto a obsolescenza digitale



RTE: PROFINET

❑ Soluzione RTE “mista” SW e HW

- **3 attori: IO-Controller (es. PLC), IO-Device (es. sensori/attuatori), IO-Supervisor (PC per diagnostica e configurazione)**
- **4 classi (Conformance Classes, in accordo a IEC 61784-2):**
 - **CC-A** scambio dati producer-consumer ciclico (SW-like) tra IO-Controller e IO-Devices (10ms di tempo di ciclo, supproto al Wireless)
 - **CC-B** come A con più servizi per la diagnostica e la gestione (es. supporto SNMP e LLDP)
 - **CC-C** Motion Control. Usa un sistema di comunicazione isocrono HW embedded nell’infrastruttura con sincronizzazione e riserva di banda (Profinet IRT)
 - **CC-D** evoluzione di CC-C con Time-Sensitive Networking (sincronizzazione, LAN virtuali, Remote Service Interface,...). Traffico isocrono, traffico ciclico e traffico aciclico. Il traffico isocrono può interrompere la trasmissione di altri frames (Frame Preemption)

OSI-Layer		Profinet					
7a	Application	Fieldbus Application Layer (FAL) Services and protocols				<u>OPC UA</u>	
7b		RSI	empty	empty	<u>RPC</u>	--	
6	Presentation				--		
5	Session				--		
4	Transport				<u>UDP</u>		<u>TCP</u>
3	Network				<u>IP</u>		
2	Data Link	<u>TSN</u>		<u>CSMA/CD</u>			
1	Physical	Ethernet					

RPC = Remote procedure call