

```
/* Esercitazione : LED blink
Accendere, in ciclo continuo, un LED, associato al pin 13, per 2
secondi e spegnerlo per un secondo*/

const int LED_13 = 13;           // costante che associa il pin13
void setup()
{
    pinMode(LED_13, OUTPUT);     // pin 13 in OUT
}

void loop()
{
    digitalWrite(LED_13, HIGH);   // LED ON
    delay(2000);                // 2s
    digitalWrite(LED_13, LOW);    // LED OFF
    delay(1000);                // 1s
}
```

Potremmo pensare di collegare il LED tra il pin 13 e la massa, senza alcuna resistenza intermedia. Questa operazione è sconsigliata perché il LED ha una resistenza interna molto bassa, di conseguenza la corrente che lo attraverserebbe sarebbe molto elevata e potrebbe danneggiare l'uscita digitale di Arduino. Per limitare la corrente basta aggiungere una resistenza in serie al diodo LED ([Figura 6](#)).

Applicando la legge di Ohm al circuito di [Figura 6](#), si ottiene:

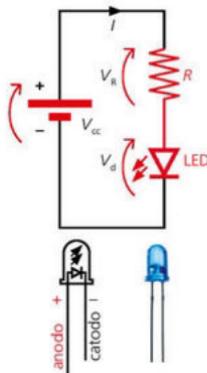
$$R = \frac{(V_{cc} - V_d)}{I}$$

dove R è la resistenza, V_{cc} è la tensione continua dell'alimentatore, V_d è la caduta di tensione del LED, I è la corrente che si vuole far transitare nel LED.

Per esempio, per un diodo LED di colore rosso alimentato con alimentazione di 5 V, in cui vogliamo far passare una corrente di 10 mA, si ha:

$$R = \frac{(5 - 1,8) V}{(10 \times 10^{-3}) A} = 320 \Omega$$

→ [Fig. 6](#) Il LED (Light Emitting Diode) è un diodo a semiconduttore che, attraversato dalla corrente, emette luce. Ve ne sono diverse tipologie, di colori diversi. Nel circuito è applicata una tensione continua (V_{cc}) che determina una corrente I limitata da R e dalla caduta di tensione V_d . Si segnala che la corrente massima che può essere erogata sul pin è di 40 mA.



ATTIVITÀ 5

Input/Output digitale: lettura di un pulsante e lampeggio di un LED

Consegna

Accendere un LED alla pressione di un pulsante.

Svolgimento

Il pulsante è collegato da un lato a massa (GND) e dall'altro all'ingresso digitale (pin 2) di Arduino. Quando il pulsante viene premuto, il pin 2 viene portato a massa (0 V) e viene letto il valore logico *LOW*. Nel contempo viene portato a stato logico *ON* il LED collegato al pin 13 ([Figura 7](#)).

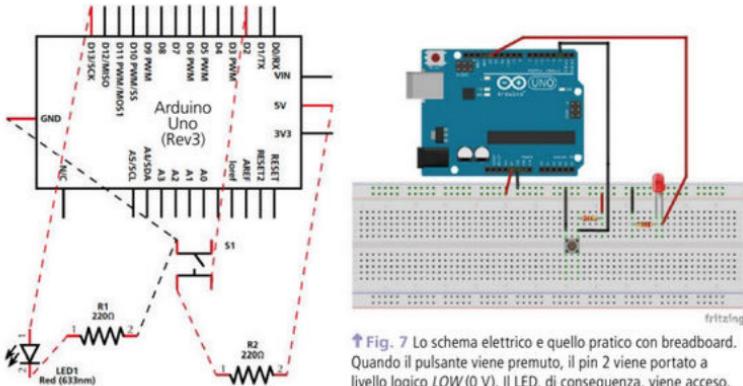


Fig. 7 Lo schema elettrico e quello pratico con breadboard. Quando il pulsante viene premuto, il pin 2 viene portato a livello logico *LOW* (0 V). Il LED, di conseguenza, viene acceso.

```
/* Esercitazione: PushButton_01
*****
 * Il pulsante è collegato da un lato a massa (GND), dall'altro a
un ingresso digitale
 * Quando il pulsante viene premuto, il pin digitale di Arduino
viene portato a massa e viene letto il valore logico LOW
*****
const int BUTTON_1 = 2; // Pulsante 1: pin 2
const int LED_1 = 13; // LED: pin 13
int StateButton1; // stato del pulsante
void setup()
{
    // Set Pulsante pin input:
    pinMode(BUTTON_1, INPUT);

    // Set LED pin output:
    pinMode(LED_1, OUTPUT);
}

void loop()
{
    StateButton1 = digitalRead(BUTTON_1);
    if (StateButton1 == LOW) // LOW= pulsante premuto!
    {
        digitalWrite(LED_1, HIGH); // LED ON
    }
    else
    {
        digitalWrite(LED_1, LOW); // LED OFF
    }
}
```

ATTIVITÀ 6

Input analogico: lettura di un potenziometro

Consegna

Facciamo lampeggiare un LED a una velocità che dipende dal valore rilevato dal potenziometro.

Svolgimento

In questa esercitazione utilizzeremo il potenziometro che varia la propria resistenza in funzione della posizione del cursore. Da un punto di vista elettrico si tratta di un partitore di tensione con resistenza variabile: il valore della resistenza viene ripartito e, secondo la legge di Ohm, la tensione di uscita risulta essere una frazione di quella di alimentazione (Figura 8).

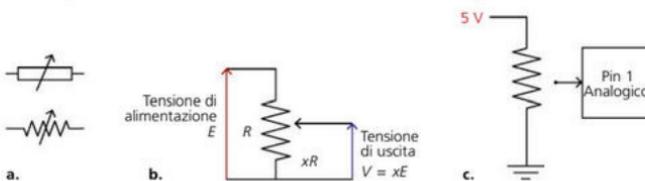


Fig. 8 a Simbolo elettrico del potenziometro (partitore di tensione); b circuito elettrico: x indica la posizione del cursore, con $0 \leq x \leq 1$; c l'uscita del potenziometro è collegata al pin 1 analogico di Arduino.

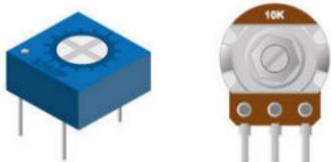


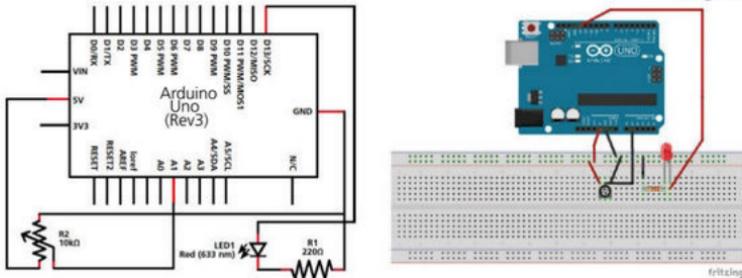
Fig. 9 Vari tipi di potenziometro.

L'uso del potenziometro è particolarmente importante perché, sotto diverse forme (Figura 9), lo si ritrova in moltissime applicazioni, e perché ci consente di utilizzare un ingresso analogico di Arduino.

Arduino offre 6 input analogici (A0, ..., A5), che accettano un valore di tensione compreso tra 0 V e 5 V, e forniscono un valore numerico compreso tra 0 e 1023 (la conversione è ottenuta mediante un ADC – convertitore analogico digitale – a 10 bit, pari a $2^{10} = 1024$ valori).

Il programma legge, tramite il pin analogico 1 (Figura 10), il valore analogico del potenziometro (`analogRead`) e, con il valore restituito (`PotValue`), controlla la velocità di lampeggiamento di un LED, inserendo delle pause pari al valore letto.

Fig. 10



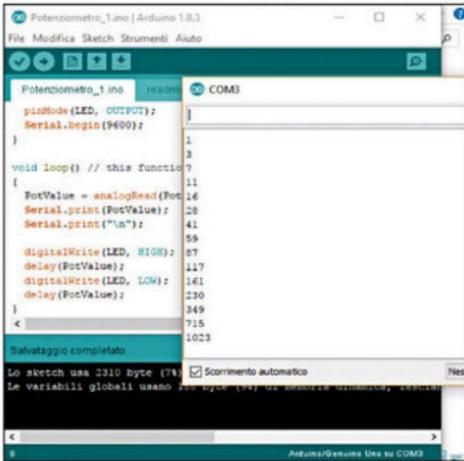
```

/* Potenziometro_01
*****
 * Il programma legge il valore del potenziometro e, con il valore
 * restituito, controlla la velocità di lampeggiamento di un LED.
 *****/
int PotSensor = A1;           // Il potenziometro è collegato al pin 1
                                // analogico
const int LED_1 = 13;          // LED: pin 13
int PotValue;                  // valore del potenziometro

void setup()
{
    pinMode(LED_1, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
    PotValue = analogRead(PotSensor); // tensione del potenziometro
    Serial.print(PotValue);         // DEBUG
    Serial.print("\n");            // oppure serial.println()
    digitalWrite(LED_1, HIGH);     // LED on
    delay(PotValue);              // Pausa con il valore (in ms) letto
                                  // dal potenziometro
    digitalWrite(LED_1, LOW);      // LED off
    delay(PotValue);              // Pausa con il valore (in ms) letto
                                  // dal potenziometro
}

```

L'introduzione dell'interfaccia seriale (**Serial.begin**) e della funzione di stampa (**Serial.print**) permette di mostrare sul monitor del PC i valori rilevati in tempo reale (Figura 11). Questa funzione controlla l'evoluzione del programma con notevoli vantaggi per le operazioni di debug e di collegamento seriale con altri dispositivi.



◀ Fig. 11 **Serial.print** permette di mostrare a video, tramite Monitor Seriale, i valori rilevati in tempo reale da Arduino, dal valore minimo (0) al valore massimo (1023).

notabene

La tecnica PWM è una tecnica di modulazione ed è utilizzata anche su Raspberry.

ATTIVITÀ 7

Output analogico: PWM

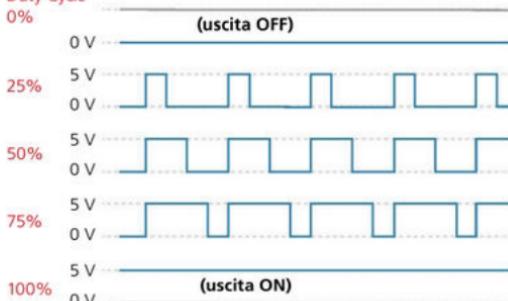
Consegna

Applichiamo la tecnica PWM per creare diversi effetti luminosi tramite LED RGB (Red, Green, Blue) che, opportunamente pilotati, possono combinare i colori.

Arduino può leggere valori analogici (valori di tensione compresi tra 0 V e 5 V) utilizzando la funzione `analogRead()`, che sfrutta un convertitore analogico-digitale.

La funzione complementare, cioè un modo per emettere segnali analogici, non è realizzata tramite un convertitore digitale-analogico (DAC) integrato, ma applicando la tecnica **PWM** (*Pulse-Width Modulation*). PWM utilizza un'uscita digitale per creare un'onda quadra, un segnale commutato tra gli stati di *ON* e *OFF*, in cui il rapporto tra la durata del segnale quando è nello stato *ON* varia rispetto al periodo totale (*duty cycle*). In altre parole, «trucchiamo» un'uscita digitale facendola apparire analogica! (Figura 12).

Duty Cycle

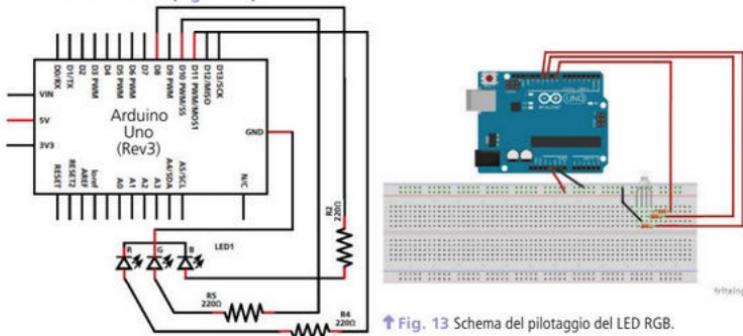


◀ Fig. 12 Duty cycle (ciclo di lavoro): la modulazione della larghezza di impulsi, o PWM, permette di variare il tempo dello stato ON del segnale rispetto al periodo totale. La funzione `analogWrite(pin, valore)` permette di variare il duty cycle. Per esempio, per un duty cycle del 25%, il valore da inserire nella funzione è pari a 64, mentre è 127 per un duty cycle del 50%.

Arduino mette a disposizione la funzione `analogWrite(pin, valore)` che permette di usare PWM con i pin 3, 5, 6, 9, 10, 11. Il *duty cycle* varia in funzione del *valore* passato come parametro da 0 (0%, sempre *OFF*) a 255 (100%, sempre *ON*).

Svolgimento

In questa esercitazione applichiamo la tecnica PWM per creare diversi effetti luminosi tramite **LED RGB**, che contiene tre diodi LED (Red, Green, Blue) che, opportunamente pilotati, modificano il colore (Figura 13).



↑ Fig. 13 Schema del pilotaggio del LED RGB.

```

//*****
 * PWM _ prova _ rgbLED
 ****
 /
const int RED _ LED = 9;
const int GREEN _ LED = 10;
const int BLUE _ LED = 11;
void setup() // OUT pin per il LED RGB
{
    pinMode(RED _ LED , OUTPUT);
    pinMode(GREEN _ LED , OUTPUT);
    pinMode(BLUE _ LED , OUTPUT);
}
void loop()
{
    for (int x = 0; x <= 255; x++) // x = x + 1 per cambio colore
    {
        showPWM(x); // mostra il colore
        delay(10);
    }
    for (int x = 255; x >= 0; x--) // x = x - 1 per cambio colore
    {
        showPWM(x); // mostra il colore
        delay(10);
    }
}
//*****
 * showPWM(int colore)
 * Mostra i colori RGB da 0 a 255
//*****
void showPWM(int color)
{
    int RValue;
    int GValue;
    int BValue;
    RValue = color; // imposta l'intensità del rosso
    GValue = color; // imposta l'intensità del verde
    BValue = color; // imposta l'intensità del blu
    // imposta i valori d'intensità (rosso, verde, blu) utilizzando
    analogWrite()
    analogWrite(RED _ LED, RValue);
    analogWrite(GREEN _ LED, GValue);
    analogWrite(BLUE _ LED, BValue);
}

```

ATTIVITÀ 8**Contatore binario 0-3 con un pulsante, due LED e un buzzer****Consegna**

In questa esercitazione, effettuata con il simulatore Tinkercad®, si utilizzano un pulsante di input, due LED in output e un cicalino (buzzer) in output.

Quando viene premuto il pulsante, viene emessa una nota dal cicalino e si accendono/spongono i LED nelle seguenti combinazioni, che corrispondono ai numeri binari da 0 a 3: 00, 01, 10, 11.

Svolgimento

Passo 1: creare un nuovo progetto.

Dopo essersi collegati e registrati a Tinkercad® all'indirizzo www.tinkercad.com selezionare **Crea → Circuito**.

Passo 2: progettazione hardware.

Selezionare e collegare le componenti, e visualizzare il circuito selezionando l'icona centrale in alto a destra (Figura 14).

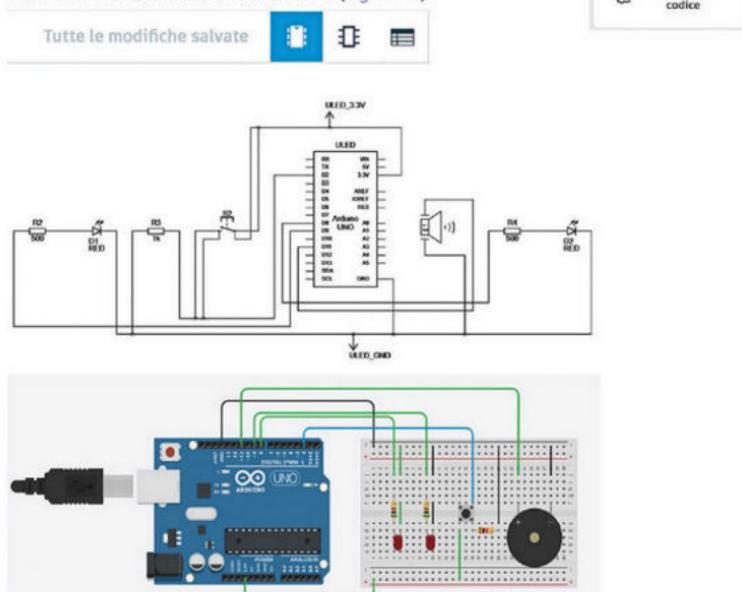


Fig. 14 Simulazione con www.tinkercad.com della scheda, breadboard e schema elettrico del circuito con Arduino (Autodesk screenshots reprinted courtesy of Autodesk, Inc.).

Passo 3: progettazione software.

Tramite il pulsante **Codice** è possibile scrivere le istruzioni. Per simulare il funzionamento del sistema selezionare **Avvia simulazione**.

Codice **Avvia simulazione**

```
/*
Contatore binario 0-3 con un pulsante, due led e un buzzer
*/
const int LED0=9;
const int LED1=8;
const int Buzzl=11;
const int pushButton1 = 2;
```

```
int count=0, buttonState1 =0;
int noteDuration = 100, pauseBetweenNotes=0;

#define NOTA_C5 523 //DO
#define NOTA_D5 587 //RE
#define NOTA_E5 659 //MI
#define NOTA_F5 698 //FA
#define NOTA_ERR 100

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(pushButton1, INPUT);
    pinMode(LED0, OUTPUT);
    pinMode(LED1, OUTPUT);
    pinMode(Buz1, OUTPUT);
}

void loop() {
    Serial.print("Binary Value: ");
    Serial.println(count);

    if (count==0){
        digitalWrite(LED0,LOW);
        digitalWrite(LED1,LOW);
    }
    else if (count==1){
        digitalWrite(LED0,HIGH);
        digitalWrite(LED1,LOW);
    }
    else if (count==2){
        digitalWrite(LED0,LOW);
        digitalWrite(LED1,HIGH);
    }
    else if (count==3){
        digitalWrite(LED0,HIGH);
        digitalWrite(LED1,HIGH);
    }
}

buttonState1 = digitalRead(pushButton1);

if (buttonState1 == HIGH) {

    switch (count) {
        case 0:
            tone(Buz1,NOTA_C5,noteDuration); // 00
            break;
        case 1:
            tone(Buz1,NOTA_D5,noteDuration); //01
            break;
        case 2:
            tone(Buz1,NOTA_E5,noteDuration); //10
            break;
    }
}
```

```

        case 3:
            tone(Buz1,NOTA_F5,noteDuration); //11
            break;
        default:
            tone(Buz1,NOTA_ERR,noteDuration); // error
            break;

        delay(noteDuration);
        noTone(Buz1);
    }
    count=count+1;

}
else if (count>3){
    count=0;
}
delay(100);
}

```

ATTIVITÀ 9

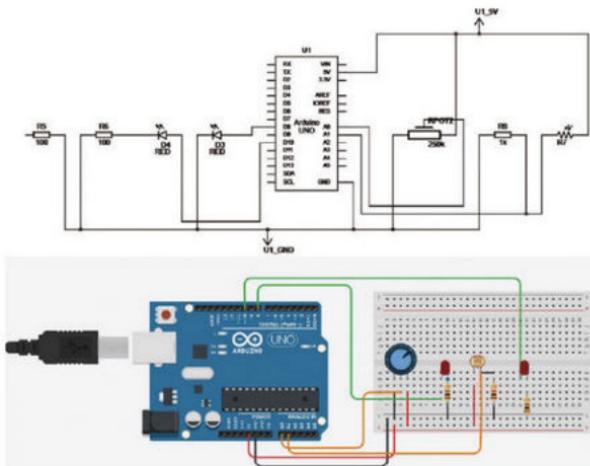
Potenziometro e fotocellula con dissolvenza

Consegna

In questa esercitazione, effettuata con il simulatore Thinkercad®, si utilizzano due ingressi analogici per rilevare i valori di un potenziometro e della fotocellula.

Svolgimento

Ai due dispositivi sono collegati due LED. Mentre il LED collegato al potenziometro si accende per un tempo proporzionale al valore rilevato dal potenziometro, l'altro LED si illumina in maniera graduale con un effetto di dissolvenza (*fading*), generato tramite la tecnica PWM (Figura 15).



↑ Fig. 15 Simulazione con www.tinkercad.com della scheda, breadboard e schema elettrico del circuito con Arduino (Autodesk screenshots reprinted courtesy of Autodesk, Inc).

```

/* Fotoresistore-Potenziometro - test ingressi analogici*/

int PotPin = A0;           // potenziometro
int ledPot = 8;             // LED del potenziometro
const int Photosensor = A1; // Photosensor
const int ledPhoto = 10;    // LED dalla fotocellula PWM
int lightLevel = 0;         // valore del fotosensore
int calibratedlightLevel = 0; //intensità luminosa

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(ledPot, OUTPUT);
    pinMode(ledPhoto, OUTPUT);
}

void loop() {
    digitalWrite(ledPot, HIGH); //Accendi LED
    delay(analogRead(PotPin)); //Attesa tempo ottenuto da PotPin
    digitalWrite(ledPot, LOW); //Spegni LED
    delay(analogRead(PotPin)); //Attesa tempo ottenuto da PotPin

    lightLevel = analogRead(Photosensor); // Valore del fotosensore
    calibratedlightLevel = map(lightLevel, 0, 1023, 0, 255);
                                // valore di lightLevel da
                                // 0-1023 a 0-255
    analogWrite(ledPhoto, calibratedlightLevel); //accendi LED con
                                                //luminosità
                                                //basata su
                                                //lightLevel

    Serial.print("LIGHT LEVEL CALIBRATED: ");
    Serial.println(calibratedlightLevel);

    // stop del programma per 100ms
    delay(100);
}

```

Utilizzare il simulatore Packet Tracer per programmare un MCU (Arduino) o un SBC (Raspberry)

Scenario

Queste attività sono realizzate usando il simulatore Packet Tracer che fornisce un insieme di sensori, attuatori e microcontrollori che possono essere collegati in rete per rendere più realistica la simulazione dei dispositivi. La gestione dinamica di sensori ambientali (temperatura,

gas, pressione, luce, ...) in Packet Tracer permette, per esempio, di rilevare del fumo e innescare un allarme, oppure aprire una finestra quando la temperatura dell'ambiente diventa eccessiva, o ancora far accendere la caffettiera quando ci si alza al mattino.

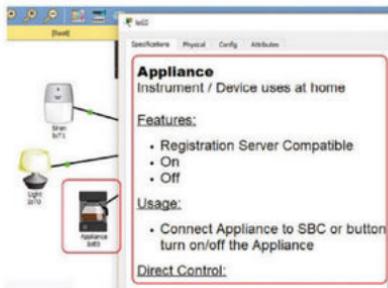


Fig. 16 La macchina del caffè con le specifiche e i modi di funzionamento si ottengono cliccando su «specification» di ogni componente.

Packet Tracer permette di gestire oggetti appartenenti a due categorie:

- gli *smart things* («oggetti intelligenti»), oggetti fisici che dispongono di un'interfaccia di rete e comprendono oggetti di uso quotidiano come macchine per il caffè (Figura 16), fornì a microonde, finestre, porte e auto. Appartengono ai seguenti ambiti:
 - Home (Figura 17);
 - Smart City;
 - Industrial;
 - Power Grid.

Questi oggetti intelligenti possono essere gestiti localmente oppure da remoto;



Fig. 17 Alcuni componenti (*smart home*) che possono essere utilizzati con PT. Oltre a utilizzare i componenti predefiniti, l'utente può anche crearne i propri o modificarne uno già esistente.

- i *components*, oggetti fisici che, pur non disponendo di interfaccia di rete, si connettono ai microcontrollori (MCU-PT) o ai *Single Board Computer* (SBC-PT) attraverso ingressi e uscite analogiche o digitali. Alla famiglia dei microcontrollori (MCU-PT) appartiene Arduino, mentre Raspberry Pi fa parte della famiglia dei Single Board Computer (SBC-PT) (Figura 18).



Fig. 18 Pannello di controllo per la scelta di MCU o SBC.

La programmazione delle schede può avvenire utilizzando diversi linguaggi, per esempio Javascript o Python. **Tutte le attività che seguono saranno realizzate in Python.**

I *components* si distinguono in:

- attuatori (Figura 19), che sono in grado di intervenire sull'ambiente esterno (motori, altoparlanti, LED, sistemi anti incendio ecc.);
- sensori (Figura 20), che rilevano le caratteristiche fisiche dell'ambiente; ad esempio, fotocellule, sensori di temperatura, potenziometri, pulsanti ecc.

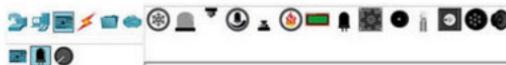


Fig 19 Attuatori.



Fig 20 Sensori.

La Tabella 1 riepiloga le istruzioni utilizzate con il linguaggio Python in Packet Tracer per interagire con SBC e MCU.

La sintassi di queste istruzioni potrebbe non essere completamente compatibile con Python3.

TABELLA riepilogativa delle istruzioni Python per Packet Tracer

Funzioni di ritardo (libreria time: from time import *)			
Funzione	Valore di ritorno	Descrizione	Esempio
delay(msec)	-	Mette in pausa il programma per "msec" millisecondi	<ul style="list-style-type: none"> delay(1700) come sleep(1.7)
sleep(sec)	-	Mette in pausa il programma per "sec" secondi (e sue frazioni)	<ul style="list-style-type: none"> sleep(0.25) come delay(250)

Digital I/O (libreria gpio: from gpio import *)			
Funzione	Valore di ritorno	Descrizione	Esempio
pinMode(pin, mode)	-	Imposta un pin in INPUT o OUTPUT	<ul style="list-style-type: none"> pinMode(1, OUT) pinMode(2, IN)
digitalRead(pin)	HIGH oppure LOW (intero)	Legge il valore di un input digitale	<ul style="list-style-type: none"> buttonValue = digitalRead(3) if(digitalRead(5)== HIGH)...
digitalWrite(pin, value)	-	Scrive il valore (HIGH o LOW) di un output digitale	<ul style="list-style-type: none"> digitalWrite(1, HIGH)

Analog I/O (libreria gpio: from gpio import *)			
Funzione	Valore di ritorno	Descrizione	Esempio
analogRead(pin)	0-1023 (intero)	Legge il valore di un input analogico	<ul style="list-style-type: none"> potentiometerValue = analogRead(A0)
analogWrite(pin, value)	-	Scrive il valore (0-255) PWM su un pin digitale	<ul style="list-style-type: none"> analogWrite(A1, 128) analogWrite(A1, pressureValue)

Custom I/O (libreria gpio: from gpio import *)			
Funzione	Valore di ritorno	Descrizione	Esempio
customRead(pin)	stringa	Legge il valore di un input di un dispositivo personalizzato (custom)	• val = customRead(1)
customWrite(pin, value)	-	Scrive una stringa su un pin digitale	• customWrite(0, "1,0") • customWrite(0, "160")

Tab. 1

ATTIVITÀ 10

Accensione di un LED

Consegna

Far lampeggiare un LED controllato da un interruttore.

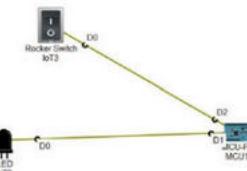
Svolgimento

```
/* Lampeggio di un LED controllato da un interruttore */
```

```
from gpio import *
from time import *

def main():
    pinMode(1, OUT)
    pinMode(2, IN)
    statoint=0
    print("Blinking")
    while True:
        statoint=digitalRead (2)
        if statoint == HIGH:
            digitalWrite(1, HIGH);
            sleep(1)
            digitalWrite(1, LOW);
            sleep(0.5)

if __name__ == "__main__":
    main()
```



notabene

Un sensore di flessione varia la sua resistenza in funzione del raggio di curvatura: minore è il raggio maggiore la resistenza.

ATTIVITÀ 11

Automazione garage

Consegna

Vogliamo realizzare l'automazione di alcuni elementi di un piccolo garage per autovetture.

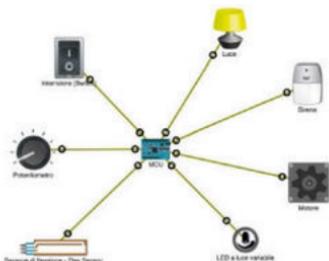
Svolgimento

Un interruttore (Figura 21) accende una lampada, un potenziometro agisce su un LED a luce variabile (*dimmable LED*), e l'apertura della porta del garage è ottenuta premendo con il piede

un sensore di flessione a membrana (*flex sensor*) che ne rileva la pressione: il valore (analogico) aumenta proporzionalmente alla pressione esercitata sul sensore. Un allarme segnala l'apertura della porta. Il sistema è realizzato con una scheda MCU (Arduino) che gestisce, in linguaggio Python attraverso l'uso di funzioni, ingressi e uscite analogiche e digitali, come mostra la Tabella 2.

IN scheda MCU	OUT scheda MCU
A0 Potenziometro	D1 Sirena
A1 Sensore di flessione	D2 Lampada
D0 Interruttore (Switch)	D3 LED a luce variabile
	D5 Motore

↑ Tab. 2



← Fig. 21 Schema del circuito con sensori e attuatori.

#MCU-Garage!

```

from gpio import * # imposta libreria GPIO
from time import * # imposta libreria Time

#inizializzazione variabile
switchValue = 0      # Interruttore (Switch)
potentiometerValue = 0 # Potenziometro
flexSensorValue = 0    # Sensore di flessione(Flex Sensor)

def leggiSensori(): #lettura dei sensori
    #dichiarazioni di variabili globali
    global switchValue
    global potentiometerValue
    global flexSensorValue

    switchValue = digitalRead(0)          # leggi Switch
    potentiometerValue = analogRead(A0)   # leggi Potenziometro
    flexSensorValue = analogRead(A1)      # leggi Flex
    customWrite(1, LOW)                  # spegni(reset) Sirena

#aziona attuatori in funzione dei valori letti dai sensori
def scriviAttuatori():
    if (switchValue == HIGH): # controllo Switch chiuso
        customWrite(2, "2")   # accendi Luce
    else:
        customWrite(2, "0")   # spegni Luce

```

```

if (potentiometerValue > 1): # controllo Potenziometro
    analogWrite(4, potentiometerValue) # accendi LED

if (flexSensorValue > 0): # controllo flex
# aziona motore con velocità proporzionale al valore di flex
    analogWrite(5, flexSensorValue)
    customWrite(1, HIGH)      # accendi sirena
else:                      # se flex non variato
    analogWrite(5, 0)        # spegni motore
    customWrite(1, LOW)      # spegni sirena

# main function
def main():
    #inizializza I/O
    pinMode(0, IN)  # digital slot 0 (Switch)IN
    pinMode(1, OUT) # digital slot 4 (Sirena)OUT
    pinMode(2, OUT) # digital slot 2 (Luce)OUT
    pinMode(4, OUT) # digital slot 4 (LED)OUT
    pinMode(5, OUT) # digital slot 5 (Motore)OUT

    print ("Start!")
# loop infinito
    while True:
        leggiSensori()      # chiama "leggiSensori"
        scriviAttuatori()  # chiama "scriviAttuatori"
        delay(1000) # attesa di 1 secondo

if __name__ == "__main__": # test se modulo in esecuzione
    main() # chiama programma principale (main)

```

notabene

Si suggerisce, per le attività di laboratorio, di operare delle varianti al programma. Ad esempio, rilevare i gas di scarico di un'auto con uno *smoke sensor*, oppure il rumore prodotto dal motore (*sound sensor*) e far aprire automaticamente la porta del garage.



ATTIVITÀ 12

Programmare un Single Board Controller (SBC)

Disponibile nell'eBook.

ATTIVITÀ 13

Programmare un Single Board Controller (SBC)

Questa attività è realizzata con Packet Tracer utilizzando il componente SBC (corrispondente, nella realtà, a Raspberry Pi).

Consegna

Far lampeggiare un LED (LED1) in modo continuativo. Quando si preme l'interruttore (switch) il LED2 si illumina e la porta si apre (Figura 22).

Svolgimento

Suggerimento: utilizzare `customWrite(0, "x,y")`.

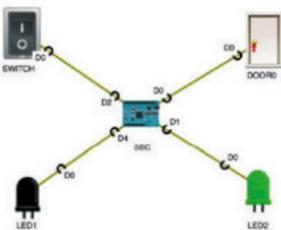


Fig. 22 Schema del circuito con sensori e attuatori.

```

# LED e porta
from gpio import *
from time import *

# (pseudo)costant #
LED2=1
LED1=4
SWITCH=2
DOOR0=0 #porta

def iniIO():
    print("iniIO")
    pinMode(DOOR0, OUT)      #porta
    pinMode(LED2, OUT)       #LED2
    pinMode(LED1, OUT)       #LED1
    pinMode(SWITCH, IN)      #switch

# inizializzazione parametri
def iniVar():
    print("iniVar")
    switchValue = 0
    analogWrite(1, 0)         # spegni LED1
    analogWrite(4, 0)         # spegni LED2
#porta con serratura:
# Open (1) / Close (0) / Unlock (0) / Lock (1)
    customWrite(0, "0,0")    # porta chiusa, senza serratura

def main():
    iniIO()
    iniVar()

    while True:
        analogWrite(1, 1023); # max
        print("LED1 ON MAX")
        delay(1000)
        analogWrite(1, 200); # min
        print("LED1 ON MIN")
        delay(1000)

```

```

analogWrite(1, 0); # off
print("LED1 OFF")
delay(1000)

switchValue = digitalRead(2) # controlla switch
if (switchValue == HIGH):
    print("LED2 ON")
    analogWrite(4, 1000) # accensione LED2
    customWrite(0, "1,0"); #apertura porta
else:
    analogWrite(4, 0) # spegni LED2
    print("LED2 OFF")
    customWrite(0, "0,1"); #chiusura porta e serratura

if __name__ == "__main__":
    main()

```

ATTIVITÀ 14

Programmare un Single Board Controller (SBC)

Consegna

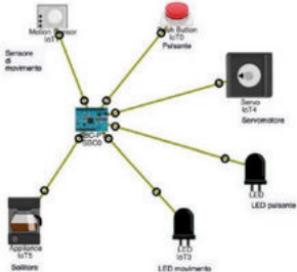
Progettare un sistema intelligente di risveglio mattutino («wakeup1») (Figura 23).

Svolgimento

Il sistema funziona se l'interruttore è acceso (ON):

- appena ci si alza dal letto, un sensore di movimento riconosce che ci siamo svegliati;
- accende la luce (LED);
- fa partire il bollitore del caffè;
- tramite un servomeccanismo, alza la tapparella (non mostrata nel progetto).

Si deve prevedere la possibilità di accendere un altro LED con un interruttore.



↑ Fig. 23 Componenti del sistema Wakeup realizzato con Packet Tracer.

notabene

Servomeccanismi

Un servomeccanismo è un dispositivo di regolazione che applica i principi elettronici della reazione negativa (feedback) nel settore elettromeccanico. Contiene, oltre al motore (attuatore) che determina il moto meccanico, un circuito comparatore che confronta il segnale di comando con il segnale prelevato dal trasduttore di controllo e ne esegue la differenza. I valori che può assumere il servomotore [1,161] corrispondono alla codifica degli angoli di rotazione.

Il programma associato è il seguente.

```
# Wakeup1
from gpio import *
from time import *

def iniIO():
    pinMode(0, OUT) # D0 → Servomotore (sollevamento tapparel-
la)
    pinMode(1, OUT) # D1 → LED associato al movimento
    pinMode(2, OUT) # D2 → bollitore del caffè
    pinMode(4, OUT) # D4 → LED associato al pulsante
    pinMode(3, IN) # D3 → pulsante
    pinMode(5, IN) # D5 → Sensore di movimento

# Reset dispositivi
def ResetSystem():
    togglePushButtonValue = 0 # inizializza pulsante
    digitalWrite(1, LOW) # spegni LED movimento
    digitalWrite(4, LOW) # spegni LED pulsante
    customWrite(0, "-160") # reset servo
    customWrite(2, "0") # spegni bollitore

def main():
    print("iniIO")
    iniIO()
    print("ResetSystem")
    ResetSystem()

    print("Start!")
    while True:
        togglePushButtonValue = digitalRead(3) # stato pulsante
        if (togglePushButtonValue == HIGH): # valuta stato puls.
            print("Pulsante premuto!")
            digitalWrite(4, HIGH) # accendi LED pulsante
            delay(1000)
        if(digitalRead(5)== HIGH): # valuta stato movimento
            print("Movimento!")
            customWrite(0, "160") # rotazione massima servomotore
            customWrite(2, "1") # accendi bollitore
            digitalWrite(1, HIGH) # accendi LED movimento
            delay(1000)

        #resetta tutto
        ResetSystem()
        delay(500)

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Progettare con Raspberry

Per realizzare un sistema utilizzando Raspberry è necessario dividere il **progetto** in due parti: la parte **hardware** e la parte **software**.

Il progetto **hardware** comprende, oltre al Raspberry Pi, vari componenti: breadboard, LED, push button, ecc. Il vero cardine, attorno al quale ruotano le applicazioni, è la gestione dei pin della **porta GPIO (General Purpose Input Output)** che permette di far interagire Raspberry Pi con il mondo esterno.

Per lo sviluppo del **software** su Raspberry Pi si possono utilizzare vari linguaggi di programmazione, tra cui Python, che consente la programmazione a oggetti e l'uso di librerie esterne open source che lo rendono versatili e potenti.

Tutte le attività che seguono sono realizzate in Python.

Raspberry supporta vari sistemi operativi, ma quello ufficiale è Raspbian, una versione Linux creata per Raspberry, basato su Debian.



Approfondimento

- Python con Raspberry
- Lavorare con Raspberry

ATTIVITÀ 15

Programmazione dei pin GPIO

La figura seguente riprende lo schema dei pin del GPIO.

3.3V	1	2	5V
GPIO2	3	4	5V
GPIO3	5	6	GND
GPIO4	7	8	GPIO14*
GND	9	10	GPIO15**
GPIO17	11	12	GPIO18
GPIO27	13	14	GND
GPIO22	15	16	GPIO23
3.3V	17	18	GPIO24
GPIO10	19	20	GND
GPIO9	21	22	GPIO25
GPIO11	23	24	GPIO8
GND	25	26	GPIO7
DNC	27	28	DNC
GPIO5	29	30	GND
GPIO6	31	32	GPIO12
GPIO13	33	34	GND
GPIO19	35	36	GPIO16
GPIO26	37	38	GPIO20
GND	39	40	GPIO21

*UART TX

**UART RX

I pin di GPIO sono gestiti tramite apposite istruzioni (Tabella 3).

Istruzione	Utilizzo
setmode	Per impostare il metodo di riferimento ai pin.
GPIO.BRD	Per accedere ai pin attraverso il loro numero.
GPIO.BCM	Per accedere ai pin attraverso il numero di porta GPIO.



setup	Per impostare un pin come pin di input o di output; ha tre parametri: 1. numero del pin; 2. costante: GPIO.IN/GPIO.OUT; 3. valore facoltativo per impostare alcune opzioni.
input	Per leggere lo stato del pin, che può essere: <ul style="list-style-type: none"> • 0, se lo stato del pin è LOW; • 1, se lo stato del pin è HIGH.
output	Per impostare lo stato di un pin a HIGH o LOW. Ha due parametri: 1. il numero del pin; 2. lo stato: (1 true GPIO.HIGH) e (0 false GPIO.LOW).
cleanup	Per riportare tutti i pin utilizzati allo stato originale.

Tab. 3 Principali istruzioni Python per programmare i pin GPIO.

All'inizio del programma occorre:

- importare la libreria RPi.GPIO (o la più recente GPIO Zero).

Per esempio:

```
import RPi.GPIO as GPIO ## Importa la libreria GPIO
```

- attivare il *pin numbering* per impostare il modo con cui vengono numerati e individuati i pin su GPIO. Esistono due modi per identificare i pin:

1. associare il numero al pin fisico sulla scheda: per esempio il pin 1 è quello in alto a sinistra, il pin 40 quello in basso a destra;

2. identificare i pin con la numerazione software BCM (Broadcom SOC channel). La mappatura dei pin BCM si riferisce ai pin GPIO che sono stati direttamente collegati al SoC del Raspberry Pi. Per esempio, GPIO2 corrisponde al pin 3, mentre GPIO21 al pin 40. **Questo secondo metodo è il più utilizzato ed è quello che useremo nelle attività proposte.**

Per esempio:

```
GPIO.setmode(GPIO.BCM) #Utilizza i pin con la numerazione GPIO
```

- impostare i pin in Input/Output.

Per esempio:

```
GPIO.setup(24,GPIO.OUT) # Forza GPIO24 in OUT
GPIO.setup(12, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP) # Forza GPIO12 in Input
```

- Leggere/Scrivere i segnali associati ai pin.

Per esempio:

```
GPIO.output(24,1) # Scrive ON/HIGH/True su GPIO24
input_state = GPIO.input(12) #lettura da GPIO12
```

ATTIVITÀ 16

Output digitale su Raspberry Pi

Consegna

Accendere e spegnere un LED collegato al pin GPIO24.

Svolgimento

Il circuito utilizzato è mostrato nella Figura 24.

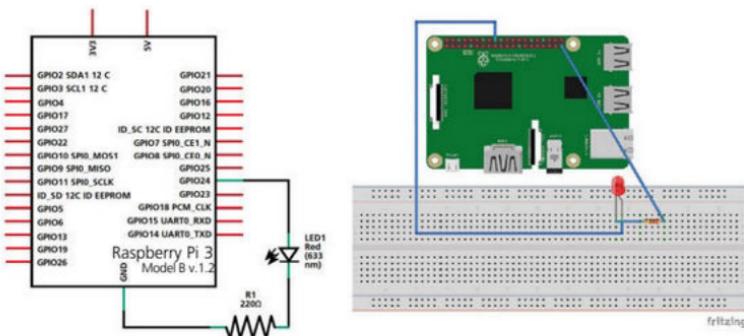


Fig. 24 Schema e breadboard del circuito che utilizza GPIO24 (pin 18) in OUTPUT per l'accensione del LED.

Il programma:

- importa la libreria GPIO (`import RPi.GPIO as GPIO`);
- attiva la relativa numerazione dei pin, `GPIO.setmode (GPIO.BCM)`;
- imposta GPIO24 in OUT e lo forza a 1;
- utilizza la funzione `sleep()` della libreria `time` che mette in pausa il programma per un determinato numero di secondi;
- accende e spegne ciclicamente il LED;
- Quando l'utente digita `CTRL+C` da tastiera, chiude il programma e resetta GPIO.

Prima di iniziare a scrivere il programma per l'accensione di un diodo LED, è buona norma verificare se il LED è inserito nel verso giusto. Basta collegarlo al pin di alimentazione 3,3 V e a quello di massa e inserire una resistenza di qualche centinaio di ohm, in serie, per limitare la corrente che lo attraversa (Figura 25).

```
import RPi.GPIO as GPIO    # Importa la libreria GPIO
import time
GPIO.setmode(GPIO.BCM)    # Utilizza la numerazione GPIO
GPIO.setup(24,GPIO.OUT)   # Forza GPIO24 in OUT - pin 18
GPIO.output(24,1)         # GPIO24 settato a 1, ON

print ("start")
try:
    while True:
        GPIO.output(24,1)    # LED acceso (GPIO24 = 1 = True = GPIO.
                             # HIGH)
        sleep(1)             # aspetta un secondo
        print ("wait a second")
        GPIO.output(24,0)    # LED spento (GPIO24 = 0 = False = GPIO.
                             # LOW)
        sleep(1)             # aspetta un secondo
        print ("wait a second")
except KeyboardInterrupt:# CTRL+C keyboard interrupt
    GPIO.cleanup()
```

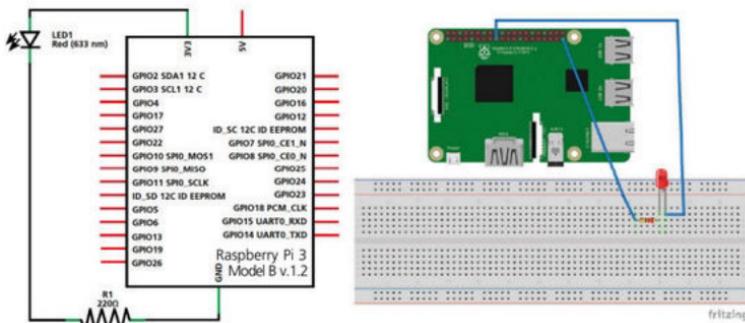


Fig. 25 Prima prova di collegamento del diodo LED.

ATTIVITÀ 17

Input/Output digitale su Raspberry Pi

Consegna

Lettura di un pulsante e accensione di un LED.

Svolgimento

Il programma svolge le seguenti operazioni:

- il pin GPIO18 è programmato in Input ed è normalmente mantenuto a livello logico «1» (3,3 V), avendo forzato l'ingresso in modalità *pull-up* con `pull_up_down = GPIO.PUD_UP`;
- premendo il pulsante, l'ingresso GPIO18 è portato a massa ed è acquisito come livello logico «0» (*False*);
- come conseguenza viene acceso il LED collegato a GPIO24 (pin 18).

Schema e breadboard del circuito che utilizza GPIO18 (pin 12) per il pulsante e GPIO24 (pin 18) per l'accensione del LED sono illustrati nella Figura 26.

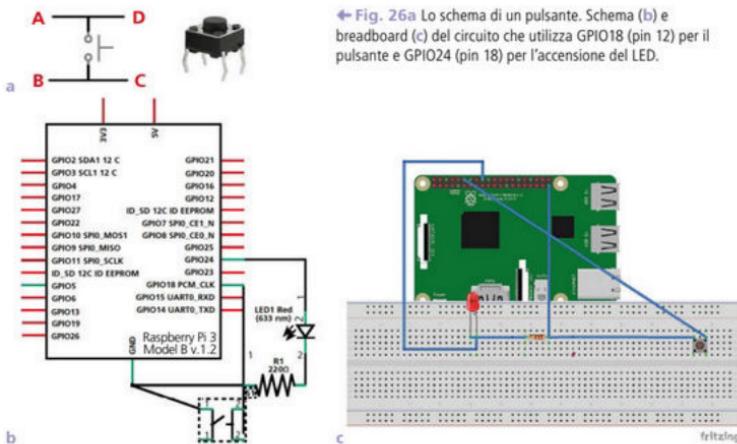


Fig. 26 Lo schema di un pulsante. Schema (b) e breadboard (c) del circuito che utilizza GPIO18 (pin 12) per il pulsante e GPIO24 (pin 18) per l'accensione del LED.

```

## GPIO18 (pin 12) in INPUT per pulsante (button)
## GPIO24 (pin 18) in OUTPUT per LED

import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(24,GPIO.OUT) # GPIO24 in OUT per l'accensione del LED
GPIO.output(24,0) # LED off
GPIO.setup(18,GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP) # Forza GPIO18
# in IN
# per pulsante
# (button)

print("Wait for Button Press")
while True:
    button_state = GPIO.input(18) # lettura pulsante
    if button_state == False: # stato = 0 → pulsante premuto
        GPIO.output(24,1) # LED on
        print("Button Pressed")
        time.sleep(1)

    GPIO.output(24,0) # LED off
except KeyboardInterrupt: # CTRL+C keyboard interrupt
    GPIO.cleanup()

```

Il lancio e l'esecuzione del programma sono illustrati nella Figura 27.

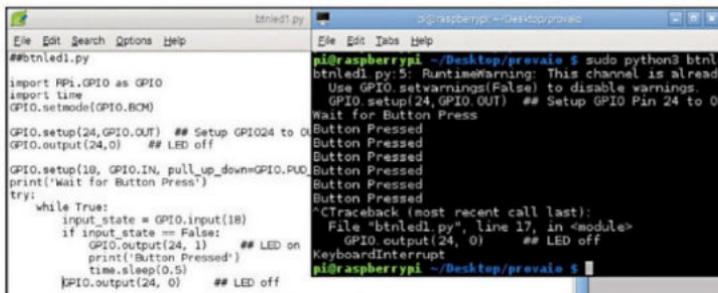


Fig. 27 Il lancio e l'esecuzione del programma btnd1.py da terminale (`sudo python3 btnd1.py`).

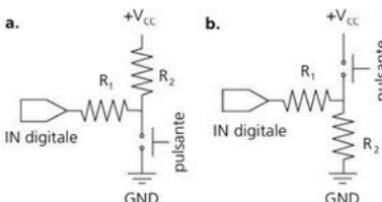
Un'osservazione importante riguarda l'utilizzo delle resistenze di pull-up e pull-down.

I resistori di pull-up (Figura 28a) vengono utilizzati per garantire che un ingresso venga mantenuto a un livello logico *HIGH* in assenza di un segnale di ingresso.

I resistori pull-down (Figura 28b) funzionano al contrario, mantenendo il pin di ingresso a un valore logico *LOW*.

Lo scopo delle resistenze di pull-up e pull-down è quello di ancorare a massa o alla tensione di riferimento gli ingressi, per evitare che disturbi elettromagnetici possano influenzarli. Se lasciassimo gli ingressi liberi («fluttanti»), basterebbe un semplice sfioramento per fare commutare la porta di ingresso e scatenare falsi contatti.

I pin GPIO di Raspberry Pi sono dotati di resistenze interne di pull-up e pull-down attivabili tramite software. Se i parametri di attivazione vengono omessi, allora nessuna resistenza verrà attivata e l'input rimarrà flottante. Ciò significa che il suo valore in ingresso non sarà prevedibile, perché assumerà valori alti o bassi casuali, dovuti alla presenza di rumore elettrico.



notabene

Un pin in ingresso è detto «floating» (flottante) quando gli viene collegato nulla e resta in uno stato qualsiasi.

Fig. 28 Resistenze di pull-up (a) e pull-down (b).



ATTIVITÀ 18

Output analogico su Raspberry Pi: PWM

Disponibile nell'eBook.



ATTIVITÀ 19

Blink di un LED su Raspberry Pi

Disponibile nell'eBook.



ATTIVITÀ 20

Variazione luce su Raspberry Pi

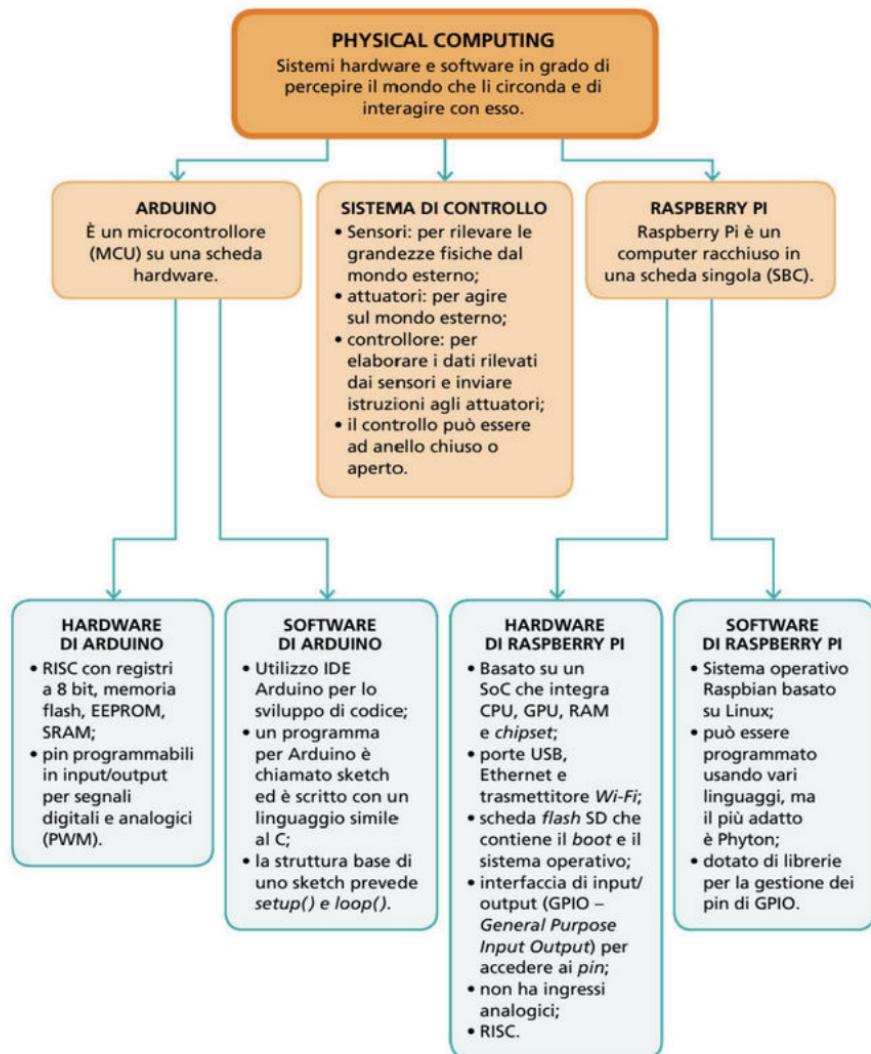
Disponibile nell'eBook.



ATTIVITÀ 21

Variazione della luce di un LED

Disponibile nell'eBook.



Verifica delle CONOSCENZE

Unità 9



Vero o Falso?

- 1 Il Physical Computing è l'hardware di un sistema di elaborazione.
- 2 Controllare un sistema significa verificare che il comportamento del sistema sia conforme alle aspettative.
- 3 UART è un'interfaccia di comunicazione parallela.
- 4 I calcolatori trattano solo valori analogici.
- 5 Il regolatore PID controlla attraverso tre azioni: proporzionale, integrale, derivativa.
- 6 In un sistema ad anello aperto, il segnale in uscita viene riportato in ingresso.
- 7 Il Physical Computing consente l'interazione tra un sistema, hardware e software, e il mondo fisico.
- 8 Un attuatore converte un segnale elettrico in una grandezza fisica.
- 9 Le grandezze fisiche sono rilevate da attuatori.
- 10 Un sensore è un dispositivo di output.
- 11 I segnali digitali devono essere convertiti in segnali analogici per essere elaborati da un computer.
- 12 Un sensore può essere considerato come una periferica di input.
- 13 Un sensore digitale rileva un segnale continuo.
- 14 Negli scanner di bar code può essere utilizzato un sensore di luce.
- 15 La retroazione negativa si ha in un sistema ad anello chiuso.
- 16 Un *motion sensor* può essere utilizzato per rilevare l'umidità di un ambiente esterno.

Domande per la prova orale

- 22 Che cosa si intende per *Physical Computing* e in che cosa consiste l'interazione tra il mondo fisico e i sistemi hardware e software? **23** In che modo un sistema di controllo rileva e controlla i parametri fisici di un processo? **24** Come si interfacciano schede intelligenti, come Arduino e Raspberry Pi, a sensori e attuatori per interagire con il mondo esterno? **25** Descrivi come vengono utilizzati i sensori e un microprocessore per monitorare un processo. **26** Che cosa si intende per *grandezza fisica*? Fai un esempio di grandezza fisica discreta e uno di grandezza fisica continua.



Rispondi ai seguenti quesiti indicando l'unica risposta esatta.

- 17 Il Physical Computing è:
- a) un'informazione proveniente dall'ambiente esterno
 - b) un input digitale
 - c) un sensore che rileva luce
 - d) costituito da sistemi hardware e software che interagiscono con il mondo esterno
- 18 Un sensore è:
- a) un dispositivo di input che rileva le proprietà fisiche in un ambiente
 - b) un segnale che diventa input di un sistema di elaborazione
 - c) un particolare link
 - d) un software particolare
- 19 I 4 pilastri del digital I/O sono:
- a) cose, dati, persone, processi
 - b) input/output digitale, input/output analogico
 - c) sensori, input, output
 - d) Physical Computing, IoT, sensori, attuatori
- 20 Un attuatore:
- a) fornisce energia per il funzionamento di un sistema
 - b) acquisisce informazioni dall'ambiente
 - c) influenza il mondo fisico
 - d) acquisisce informazioni dallo spazio
- 21 GPIO è:
- a) un linguaggio di programmazione di alto livello
 - b) un'interfaccia fisica tra Raspberry Pi e il mondo esterno
 - c) un dispositivo di I/O
 - d) un sensore per raccogliere dati
- 27 Spiega il significato del termine *sensore*. **28** Che cos'è il GPIO di Raspberry? **29** Quali sono le principali differenze tra Arduino e Raspberry Pi? **30** Quali sono le parti in cui è strutturato uno sketch di Arduino? **31** Quali sono le istruzioni tipiche per leggere/scrivere utilizzando un pin analogico/digitale in Arduino? **32** Come è strutturato un programma Python per la gestione dei pin della GPIO di Raspberry Pi? **33** In che cosa consiste la tecnica PWM?

- 34** Identifica tre sensori che potrebbero essere usati in una lavatrice. Per ogni sensore indica inoltre come potrebbe essere utilizzato.



- 35** Serena ha un'azienda agricola con alberi da frutto e utilizza un sistema con sensori per monitorare le condizioni di crescita degli alberi. Fai un esempio di due sensori che potrebbero essere usati da Serena per far crescere in modo ottimale i suoi alberi, specificandone l'utilizzo.



- 36** Quali sensori potrebbero essere utilizzati in una casa intelligente? Fai almeno tre esempi.
- 37** Qual è l'istruzione Python per inviare un output su un determinato pin?

- 38** Descrivi il significato dell'istruzione Python: `GPIO.output(24,0)`
- 39** Descrivi il significato dell'istruzione Python: `GPIO.input(22)`
- 40** Descrivi il significato dell'istruzione Python: `GPIO.setup(23,GPIO.OUT)`
- 41** Progetta un sistema con Arduino per simulare un semaforo.
- 42** Progetta un sistema con Arduino per accendere un led quando viene rilevato un movimento.
- 43** Utilizza Packet Tracer e progetta un sistema che abbia i seguenti requisiti:

- considera un appartamento dotato di ingresso, zona giorno e camera;
- quando la porta di ingresso si apre, si accende la luce dell'ingresso e le altre sono spente;
- quando si apre la porta della camera si accende la luce della camera e le altre sono spente;
- quando si apre la porta della zona giorno, si accende la luce della zona giorno e le altre sono spente.

Successivamente aggiungi un dispositivo che rilevi eventuali movimenti all'interno dell'appartamento quando i proprietari sono fuori.

- 44** Osserva tutti i sensori e gli attuatori disponibili su Packet Tracer e ipotizza un sistema che potrebbe essere utilizzato in un garage e in un locale pubblico.





Physical Computing

Abstract

Physical Computing means building hardware and software systems interacting with the analog world. To accomplish this purpose, we use sensors, to detect and check physical properties of the environment, actuators, to act on and to modify the environment, and controllers, to act between sensors and actuators.

Sensors can detect analog and digital signals, but we need to convert signals into digital signals in order to process them with a computer.

Physical Computing exploits the Internet and cloud's potential, it is important for several engineering branches such as robotics and mechatronics and is widely used in the Internet of Things (IoT), that is interconnecting smart objects with the Internet.

We can use Arduino and Raspberry microcontroller boards to manage input and output, to control sensors and actuators and to program objects.

Questions

Answer all questions

- 1 Which are the components of a control system?
- 2 Which is the difference between sensor and actuator?
- 3 Give an example of the usage of a sensor detecting light.
- 4 Give an example of analog and digital values.

Choose the correct answer



- 5 A physical quantity:
 - a is always a discrete quantity
 - b is always a continuous quantity
 - c is a continuous quantity, which can assume discrete values in a definite range, or a discrete quantity, which assumes a continuous set of values
 - d is a continuous quantity, which can assume continuous values in a definite range, or a discrete quantity, which assumes a discrete set of values

- 6 A temperature sensor:

- a measures the heat radiation emitted by an object and detects changes in temperature
- b is used only in summer
- c measures the temperature of the sun
- d detects the infrared radiation emitted by a person or an object

- 7 A device that converts variables to process them with a computer is:

- a a sensor
- b an actuator
- c software
- d a chip

- 8 A signal:

- a is a flat sound
- b is a type of light
- c is a movement
- d is the variation of a physical quantity

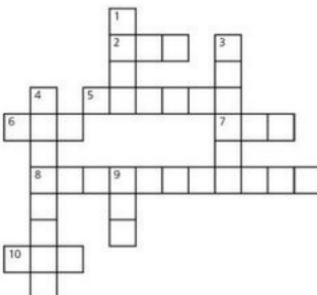
Crosswords

Across

- 2 Technique that uses duty cycles
- 5 Movement sensor
- 6 Converts electrical signals into light signals
- 7 Computer built on a single circuit board
- 8 Instruction that reads a digital signal in Arduino
- 10 Microcontroller

Down

- 1 Used to control Raspberry Pi pins
- 3 A device can measure physical properties of the environment
- 4 A system output that is channeled into input
- 9 An ecosystem of interconnected people and objects



Verifica delle COMPETENZE

Tema 2**1** Considera il seguente programma, assemblato ed eseguito con masm8086.

File	Edit	Search	Run	Data	Options	Calls	Windows	Help
(1) nemo v1								
E430:0000	001B4	M09		BX = 001B0				.model small
E430:0003	00ED6	M09		BX = 00005				.stack
E430:0006	00F42	POP		CX = 0000				.data
E430:0007	20D04	SUB		DX = 1431				parola DB "scrivo una parola"
E430:0009	D1E33	SHL		SP = 00110				quale DB 17 dup (?)
E430:000B	D1E33	SHL		BP = 00008				.code
E430:000D	D1E33	SHL		SI = 0000				IP = 001B4
E430:0010	D1E33	SHL		DI = 00011				PL = 37022
E430:0011	FH	CLI		DS = 1430				.startup
E430:0012	00E02	M09		ES = 1428				lea SI,parola
E430:0013	ADD	ES,BX		SS = 1429				lea DI,quale
E430:0014	001B4	INT		CX = 001B				mov CX,12h
E430:0017	03360000	LEA		NU UP EI PL				mov BX,0
E430:001B	0331E1100	LEA		NZ NZ PO NC				cosa:
E430:001C	8912200	M09		ds:000d				mov AH,[SI+BX]
E430:001D	00E02	M09		dx:000d				mov [DI+BX],AH
E430:001E	002B0	M09		ds:000e				inc BX
E430:0025	001B1	M09		ds:000f				loop cosa
E430:0027	00E02	MOV		ds:0010				.exit
E430:0029	43	INC		ds:0011				end
E430:002B	00E02	CDQ						
E430:002C	344C	M09						
E430:002E	C2D1	INT						
E430:0030	7263	JMB						
E430:0032	7D	JRD						
E430:0034	7665P	JBE						
E430:0036	20756E	RDN						
E430:0039	61	POP						
E430:0040	001B1	IND						
E430:0041	207761	IND						
E430:0042	226F	JB						
(15) nemo v1								
nemo v2 b 001B								
E430:0000	CD 20 FF 77 00 98 76 6F 2B 75 6E 61 28 5B 61 scrisco una pa							
E430:0001	40 00 E1 0F 25 61 2B 5A F0 13 D0 96 1E 20 00 0F 00							
E430:0010	01 00 01 0F 00 2B 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00							
E430:0027	40 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00							
E430:0034	18 00 00 28 14 FF FF 00 29 75 00 00 00 00 00 00 00 00 00							
E430:0041	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00							

L'immagine riporta il codice di un programma scritto in Assembly 8086 e la sua «fotografia» durante l'esecuzione. Dopo aver attentamente studiato la situazione, rispondi sul quaderno ai seguenti quesiti.

- Qual è lo scopo del programma?
- A che cosa servono le 4 finestre in cui è divisa l'immagine?
- Quanto è lunga l'istruzione `mov CX, 0012`?
- A quale indirizzo di memoria è associata l'etichetta «cosa»?
- Che cosa contiene la locazione di memoria `DS:000F`?
- A quale indirizzo è allocata la stringa «parola»?
- Quale sarà la prossima istruzione da eseguire?
- Quanti byte occupa il programma? Perché?

2 Supponi di essere nella situazione di partenza illustrata nella **Figura 1** di pagina seguente.

Analizza la figura con attenzione e poi rispondi: che cosa contiene `AX` dopo l'esecuzione di ciascuna istruzione?

`mov AX, 0036h`

`AX =`

`mov AX, [0005h]`

`AX =`

`mov AX, [si]`

`AX =`

`mov AX, [si + 3]`

`AX =`

Registri:

AX:

BX:

SI 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0

Indirizzo	Memoria	Memoria	Indirizzo
0000000000000000	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 1 1 0 1 0 1	0000000000000001
0000000000000010	1 1 1 0 0 0 0 0	1 0 0 0 1 1 0 0 1	0000000000000011
0000000000000100	0 0 1 0 0 0 0 0	0 0 1 1 1 0 0 0 0	0000000000000101
0000000000000110	1 1 1 0 0 0 0 0	0 1 1 1 1 0 0 1	0000000000000111
0000000000001000	0 0 1 1 0 0 1 0	1 0 1 1 1 0 0 0	0000000000001001
00000000000001010	0 0 0 1 0 1 1 1	0 0 1 0 1 0 1 0	00000000000001011
00000000000001100	0 1 0 1 0 1 1 0	0 0 1 0 1 1 1 1	00000000000001101
00000000000001110	0 1 0 1 0 1 0 0	0 1 1 0 0 0 1 0	00000000000001111
00000000000010000	0 1 0 1 0 0 0 1	0 0 0 1 0 0 1 0	00000000000010001
000000000000010010	0 1 0 1 0 1 0 1	0 0 0 1 0 1 1 1	000000000000010011

Fig. 1

- 3 Che cosa contiene AX dopo l'esecuzione della seguente sequenza di istruzioni?

```
inc SI
add SI,2
mov AX, [SI]           AX = _____
```

- 4 Che cosa contiene SI dopo l'esecuzione del seguente algoritmo?

```
CX := 5
Mentre (CX not = 0) do
    SI = SI + 1
    add SI, 02h
    CX := CX - 1
```

- 5 Scrivi sul quaderno il significato delle seguenti istruzioni.

- a. mov AX, SI
- b. mov AX, BX
- c. mov AX, SI
- d. mov CX, [SI]

- 6 Scrivi sul quaderno le seguenti istruzioni, espresse in linguaggio naturale, in Assembly 8086.

- a. Trasferisci il contenuto della locazione di memoria di indirizzo 0021h nel registro AH.
- b. Trasferisci il contenuto del registro AH nel registro BH.
- c. Trasferisci il contenuto del registro BH nella locazione di memoria di indirizzo 0036h.

- 7 Considera la Figura 2 qui sotto, che contiene un programma 8086 in esecuzione; il codice sorgente è riportato a fianco.

The screenshot shows a debugger interface with two main panes. The left pane displays assembly code with addresses from 142F:0000 to 1431:00A9. The right pane shows registers and memory dump windows.

Registers (17)reg:

AX	= 0307
BX	= 0007
CX	= 0003
DX	= 1431
SP	= 0000
BP	= 0000
SI	= 0000
DI	= 0000
DS	= 1431
ES	= 141F
SS	= 141F
CS	= 142F
IP	= 142F0002
FL	= 3202

Memory dump (6)memory2 b DS:0:

1431:000C	00	00	00	00	26	00	00	00	01	00	00	01	00	00	00	00
1431:0009	00	00	00	30	00	00	00	00	00	00	00	26	00	00	00	00
1431:0006	00	00	00	70	72	69	6D	6F	2E	61	73	60	00	00	00	00
1431:0003	00	01	00	00	00	00	00	00	00	17	00	00	00	00	00	00
1431:0000	10	00	00	00	1C	00	00	00	1E	00	00	00	28	00	00	00
1431:00D0	00	00	00	23	00	00	00	26	00	00	00	00	00	00	00	00
1431:000B	00	00	00	0C	00	00	00	0E	00	00	10	00	15	00	00	00

Code (sorgente):

```

;programma per test
.model small
.stack
.data
.code
.startup
.exit
end

```

Commenti:

- Il programma è scritto in assembly 8086 e utilizza i segmenti DS e CS.
- Le istruzioni MOV sono usate per trasferire dati da un registro a un altro.
- La memoria è visualizzata in esadecimale.
- I registri mostrano valori tipici per un programma 8086.

Fig. 2

- Rispondi alle seguenti domande.
 - Quanti byte occupa l'istruzione `mov AH, 03h`?
 - Scrivi il codice binario associato all'istruzione `mov CX, AX`.
 - Quanti byte occupa l'istruzione `mov AX, 00ffh`?
 - Scrivi il codice binario con cui è tradotta l'istruzione `mov AX, 00ffh`.
 - Quanti byte occupa il programma da `mov AX, 0007h` a `mov AX, 00ffh` incluse? Perché?
 - Qual è il codice operativo di `mov CX, 00ffh`?
 - Qual è il codice operativo di `mov AX, 00ffh`?
- Considera le istruzioni `mov CX, 00ffh` e `mov AX, 00ffh`. Osserva le traduzioni in esadecimale, mettile a confronto e commenta.
- Considera le istruzioni `mov BX, AX` e `mov CX, AX`. Osserva le traduzioni in esadecimale, mettile a confronto e commenta.

Rispondi alle seguenti domande.

- Che cosa sono DS e CS? A che cosa servono?
- Indica la differenza tra indirizzo assoluto e indirizzo relativo.
- Che cosa significa 1431:00A9?
- Qual è l'indirizzo fisico associato all'indirizzo logico 1431:0002?
- Qual è la dimensione del bus dati dell'8086?
- Qual è la dimensione del bus indirizzi dell'8086?
- Quanto è grande un indirizzo fisico (assoluto) 8086?
- Quanta memoria si può indirizzare con 20 bit?
- Quanta memoria si può indirizzare con 16 bit?
- Che cosa contiene la locazione di memoria di indirizzo 1431:00A0?

- 18** Sia A una variabile di dimensione 1 byte e B una variabile di dimensione 2 byte. Indica quali delle seguenti istruzioni 8086 sono corrette e quali no: **a)** mov AX, A; **b)** mov AX, B; **c)** mov A, AL; **d)** mov B, BL; **e)** mov A, B; **f)** mov AX, BL; **g)** add A, B; **h)** add B, A; **i)** add AX, A; **j)** div B.
- 19** Completa una tabella che assegna il valore assunto dai bit di stato per CF, per ZF e per SF, dopo aver eseguito ciascuna delle seguenti istruzioni 8086: **a)** mov AX, 0005; **b)** cmp AX, 0005h; **c)** sub AX, 0005h; **d)** sub AX, 0003h; **e)** add AX, 00FFh; **f)** sub AX, 0009h.
- 20** Scrivi il codice ARM per risolvere i seguenti problemi:
a) Alloc a un vettore di 5 byte e inizializzalo.
b) Dichiara la stringa «ciao» di nome msg.
- 21** A ciascuna delle seguenti istruzioni ARM associa il suo significato:
a) mov r0, #1000;
b) mov R1, [1000h];
c) mov r0, r1;
d) mov R3, [r4+3];
e) b loop;
f) add R0, r1, r2.
- 22** Scrivi un programma ARM per visualizzare a video la stringa «ciao mondo!».
- 23** Scrivi un programma ARM per acquisire da tastiera una password lunga 8 caratteri.
- 24** Considera i registri utilizzati dal microprocessore ARM e componi una tabella che riporta il nome del registro, una descrizione sintetica della sua funzione e la relativa dimensione in bit.
- 25** Scrivi il codice Assembly 8086 e ARM corrispondente al seguente pseudocodice.
- ```

a:=0
c:=5
while a > = 0 do
 a:= c
 c:= c-1
od

```
- 26** Trova due degli indirizzi segmentati corrispondenti all'indirizzo fisico B2814 (mostra i calcoli).

### Realizza i seguenti progetti con Packet Tracer.

- 27** Scegli degli oggetti disponibili e rileva in essi la presenza di metalli (consulta le proprietà degli oggetti).
- 28** A fronte della rilevazione di un movimento, chiudi a chiave le due porte di una stanza e attiva un segnale di allarme.
- 29** Azionando un interruttore, attiva una musica e mantieni la temperatura a un livello prefissato.

ORIENTAMENTO  
S T E M Tema 2

## Orientamento al lavoro

### Sensori

#### Contesto

Università, Dipartimento di ingegneria navale, elettrica, elettronica e delle telecomunicazioni – DITEN. Sviluppo di sensori e sistemi di misura innovativi per la diagnostica predittiva applicata alle apparecchiature elettriche.

#### Intervista a

Francesco Guastavino, laureato nel 1988 in Ingegneria Elettrotecnica e attualmente Professore Ordinario all'Università degli Studi di Genova. È fondatore e presidente dello spin-off accademico dell'Università degli Studi di Genova Diasol S.r.l.

#### Quali sono i settori aziendali che si occupano di sensori e quale lavoro concretamente si basa sui sensori?

Diasol S.r.l. è uno spin-off accademico nato dal laboratorio di ricerca CMTEST dell'Università degli Studi di Genova. Diasol si occupa di produzione e vendita di sensori e sistemi di misura innovativi per la diagnostica applicata alle apparecchiature elettriche, derivati dal trasferimento tecnologico con il mondo universitario. Si occupa inoltre di misure in campo su macchine e apparecchiature elettriche. Fanno parte della compagnie societaria di Diasol professori universitari, studenti di dottorato di ricerca, dotti di ricerca, assegnisti ed esperti nel settore del service su macchine elettriche.

### **Chi sono i clienti e i fornitori?**

*Diasol* si rivolge a tutto il mondo del service, della riparazione e della produzione delle macchine e delle apparecchiature elettriche sia in Italia sia all'estero. I prodotti e i servizi offerti da *Diasol* necessitano di competenze in campo elettrotecnico, elettronico e informatico. Parte di tali competenze è presente all'interno di *Diasol*, parte viene ricercata all'esterno. I fornitori di *Diasol* sono aziende che trattano componentistica elettronica e realizzazione di PCB, aziende che trattano contenitori metallici o plastici per circuiteria elettronica e aziende che si occupano di progettazione e sviluppo in campo elettronico e informatico hardware e software. Parte dei componenti offerti da *Diasol* vengono acquisiti da *Diasol* in outsourcing da importanti aziende italiane e straniere.

### **Qual è il mercato oggi e qual è la previsione per i prossimi anni?**

Il mercato relativo alla diagnostica predittiva è in continua espansione anche nell'ottica Industry 4.0. I sistemi diagnostici evoluti possono far parte di sistemi di produzione complessi, integrandosi con questi e favorendo elevati standard di affidabilità e continuità di processo.

### **Qual è la figura professionale che è richiesta in questo ambito?**

Le figure professionali richieste sono ingegneri e periti elettrici, elettronici e informatici con buona predisposizione sia all'attività intellettuale sia a quella manuale. Inoltre, trattandosi di un campo relativo allo sviluppo e all'applicazione di prodotti innovativi, vengono ricercate figure professionali con spiccata curiosità e inventiva. Infine è richiesta la disponibilità a viaggiare anche all'estero e la patente di guida per autovetture.

### **Che tipo di formazione deve avere?**

Una buona preparazione specialistica di base e la conoscenza della lingua inglese. Non è necessariamente richiesta l'esperienza derivante da un'attività lavorativa precedente.

### **Ci racconta un po' la sua esperienza, la sua storia, il rapporto con i colleghi?**

La mia esperienza lavorativa nasce dopo il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Elettrica come precario all'Università e poi come ricercatore e quindi come Professore Associato. Nel 2009 ho promosso la nascita di *Diasol* insieme a dottorandi e assegnisti del laboratorio, due colleghi e un esperto di sistemi di isolamento elettrico. *Diasol* nasce, vincendo un concorso promosso da *Sviluppo Italia*, ottenendo un finanziamento che ci ha permesso di iniziare le attività. Lo scopo è quello di poter creare uno sbocco professionale lavorativo a dottorandi e assegnisti del laboratorio *CMTEST*, creando con il laboratorio una via preferenziale di trasferimento tecnologico promosso dall'Ateneo. Nel tempo la compagine societaria è cambiata, ma si basa sempre su elementi giovani provenienti da esperienze di studio e lavoro universitario. L'ambiente lavorativo è molto positivo e il rapporto fra le persone è amichevole, mutuando quello che avviene anche nel laboratorio dal quale *Diasol* nasce.

### **La cosa più bella e quella più brutta della sua esperienza lavorativa?**

L'esperienza relativa all'attività in *Diasol* è sempre stata molto positiva, anche se svolta in modo un po' marginale, poiché il mio lavoro principale è quello di professore universitario e l'attività di ricerca nel laboratorio *CMTEST*. È molto positivo poter vedere concretizzati i risultati della ricerca effettuata in laboratorio in prodotti e strumenti, attraverso il trasferimento tecnologico fra *CMTEST* e *Diasol*. La nota negativa è il fatto di non essere riusciti a stabilizzare in modo permanente alcuni studenti molto validi in una realtà lavorativa di piccola industria.

### **È contento del suo lavoro? Lo sceglierrebbe di nuovo?**

Ripercorrerei senz'altro il cammino effettuato, sicuramente molto gratificante, cercando magari di dedicare maggior tempo agli aspetti gestionali e amministrativi.

# Sfida finale

## ReadyReflex – Riflessi pronti!

### Scenario

Il gioco dei riflessi pronti permette a due giocatori di confrontarsi con la prontezza dei propri riflessi: il primo che preme il proprio pulsante vince! La logica è la seguente, come illustrato nel diagramma a stati di Figura 3:

- Nello stato Ready viene acceso il LED L5 (L5=ON) per indicare che il sistema è partito.
- Viene fatto partire un tempo casuale, allo scadere del quale L5 viene spento (L5=OFF) indicando la partenza del gioco e facendo precipitare il sistema nello stato di *Start*.
- Ogni giocatore deve premere il proprio pulsante (P1 o P2): il primo giocatore a premere fa accendere il led corrispondente e vince (WIN 1 o WIN 2):
  - al tasto P1 è associata l'accensione del LED L3 (L3=ON);
  - al tasto P2 è associata l'accensione del LED L4 (L4=ON).
- Dopo la vittoria di uno dei due concorrenti il sistema passa nello stato di Reset, segnalato dall'accensione del LED L1 (L1=ON).
- Dopo un tempo definito di 3 secondi, i LED si spengono e il gioco riprende dallo stato Ready.

### Obiettivi

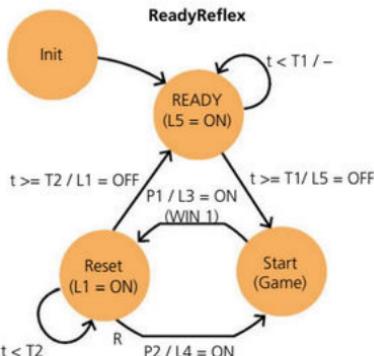
- Realizzazione del circuito con Raspberry Pi (secondo la Tabella 1 e la Tabella 2)**
- Codifica in Python**
- Test del programma**

| GPIO# / pin#    | Sensore     | Note        |
|-----------------|-------------|-------------|
| GPIO22 / pin 15 | Pulsante P1 | Giocatore 1 |
| GPIO27 / pin 13 | Pulsante P2 | Giocatore 2 |

† Tab. 1 Tabella Ingressi.

| GPIO/pin        | Attuatore | Note                  |
|-----------------|-----------|-----------------------|
| GPIO18 / pin 12 | LED 1     | Reset                 |
| GPIO24 / pin 18 | LED 3     | Vincitore Giocatore 1 |
| GPIO25 / pin 22 | LED 4     | Vincitore Giocatore 2 |
| GPIO4 / 7       | LED 5     | Ready                 |

† Tab. 2 Tabella Uscite.



† Fig. 3 La macchina a stati del gioco ReadyReflex

### Consegna

Realizzare lo schema elettrico per Raspberry Pi con pulsanti e LED.

- 1 Realizzare fisicamente il circuito.
- 2 Codificare nel linguaggio Python il programma da eseguire su Raspberry Pi.
- 3 Testare il programma nei vari stati e nelle diverse situazioni: attesa iniziale, accensione dei LED, funzionamento dei pulsanti...

### Nota

Ti piacerebbe se il programma indicasse il nome del vincitore, invece del pulsante che è stato premuto? Per questo si potrebbero impostare i nomi dei giocatori con l'istruzione `input`.

Per esempio:

```

l_name = input ('Il nome del
 giocatore di
 sinistra è: ')
r_name = input ('Il nome del
 giocatore di destra
 è: ')
...
print(l_name + ' è il VINCITORE!!!')
...
```



## Tema 2

# Interroghiamo l'Intelligenza Artificiale

**Tu e un tuo compagno o una tua compagna scegliete 5 domande dall'elenco.**

**Successivamente ogni elemento della coppia, lavorando individualmente, interroga l'AI. I due membri della coppia utilizzano due chatbot diversi. Ciascuno conserva le schermate con le risposte e riassume le risposte ottenute.**

**Infine, confrontate le risposte. I chatbot hanno dato risposte analoghe? Oppure ci sono state differenze? Quando tu e il tuo compagno o la tua compagna avete riassunto le risposte del chatbot, avete considerato come importanti gli stessi concetti?**

1. Che cosa si intende per «ambiente di elaborazione»?
2. Come si differenziano i dispositivi periferici dagli elementi interni di un computer?
3. Quali sono alcune funzioni tipiche del sistema operativo in un ambiente di elaborazione?
4. Quali sono gli aspetti chiave da considerare nella configurazione di un sistema informatico?
5. Quali sono le principali differenze tra un Single Board Computer e un personal computer tradizionale?
6. Come si assembla un personal computer?
7. Quali sono le applicazioni pratiche del sistema di numerazione esadecimale?
8. Che cos'è un microprocessore e qual è il ruolo principale del microprocessore in un computer?
9. Quali sono gli aspetti chiave dell'architettura del microprocessore 8086?
10. Quali istruzioni di basso livello sono supportate dal microprocessore 8086?
11. Quali sono le differenze tra l'architettura del microprocessore 8086 e quella di altri microprocessori?
12. Quali sono le principali istruzioni assembly per il microprocessore 8086?
13. Quali sono gli utilizzi tipici dei microprocessori 8086 nel contesto moderno?
14. Che cosa contraddistingue l'architettura ARM rispetto a quella del 8086?
15. Quali istruzioni di basso livello sono supportate dai processori ARM?
16. Quali sono le applicazioni comuni dei processori ARM?
17. Quali sono le principali istruzioni assembly per i processori ARM?
18. Quali sono i vantaggi dell'architettura ARM nel contesto degli Embedded Systems?
19. In che modo l'architettura ARM è coinvolta nell'industria dei dispositivi mobili?
20. Quali sono i principali produttori di processori ARM?
21. Che cosa si intende per «Physical Computing»?
22. Quali sono i componenti principali di un sistema di Physical Computing?

23. Come si progetta un sistema di Physical Computing?
24. Fornisci alcuni esempi di progetti di Physical Computing che possono essere realizzati.
25. In che modo Arduino è coinvolto nell'ambito del Physical Computing?
26. Come si utilizza Arduino per creare progetti di Physical Computing?
27. Quali sono le applicazioni pratiche del Physical Computing nella vita di tutti i giorni?
28. Come si differenzia il Physical Computing dallo sviluppo di software tradizionale?
29. Quali sono i vantaggi dell'uso del Physical Computing in progetti pratici?
30. Che cosa sono i System On a Chip e quali sono le loro applicazioni comuni?
31. Fornisci alcuni esempi di SoC utilizzati in dispositivi moderni.
32. Che cosa sono i microcontrollori e in quali contesti vengono utilizzati?
33. Quali sono le differenze tra un microcontrollore e un microprocessore?

# Tema 3

# Architettura di rete: l'accesso alla rete

## Unità

10 Le reti

11 Il Livello Fisico

12 Il Livello Collegamento Dati

### Prerequisiti

- Significato di sistema
- Significato di processo
- Elementi base di fisica
- Sistema di numerazione binario

### Conoscenze

- Architettura di rete
- Il modello ISO/OSI
- Classificazione dei servizi
- La rete Internet
- Gli standard internazionali
- Elementi base di teoria e trasmissione del segnale
- Analisi degli strati: livello fisico e livello di collegamento dati
- Il livello di collegamento dati
- Rilevazione e correzione degli errori
- Protocolli per la comunicazione di rete

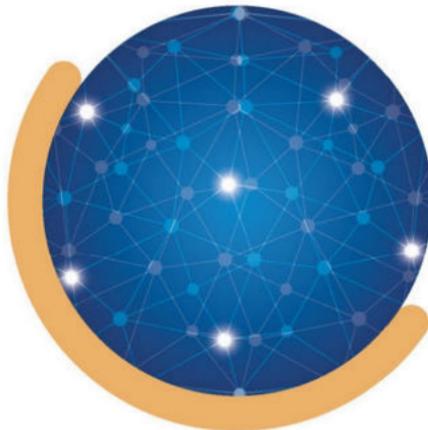
### Abilità

- **Classificare** una rete e i servizi offerti con riferimento agli standard tecnologici
- **Comprendere** la struttura base di una rete di comunicazione
- **Identificare** le caratteristiche di un servizio di rete
- **Scegliere** i mezzi fisici di trasmissione
- **Comprendere** i compiti e i servizi offerti dai livelli bassi del modello ISO/OS

### Competenze

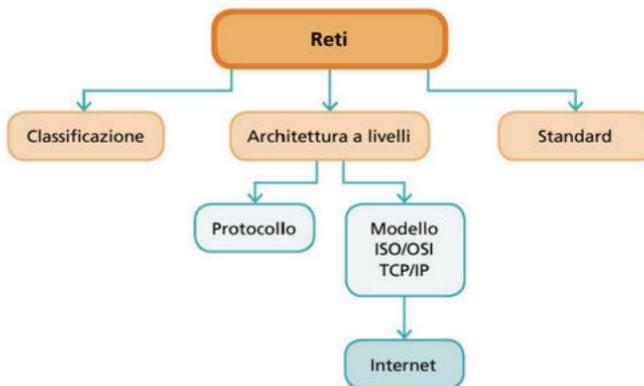
- **Configurare, installare e gestire** reti
- **Scegliere** dispositivi e strumenti in base alle loro caratteristiche funzionali
- **Descrivere e comparare** il funzionamento di dispositivi e strumenti elettronici e di telecomunicazione
- **Gestire** progetti secondo le procedure e gli standard previsti dai sistemi aziendali di gestione della qualità e della sicurezza
- **Utilizzare e progettare** le reti e gli strumenti informatici
- **Utilizzare** le reti e gli strumenti informatici nelle attività di studio, ricerca e approfondimento disciplinare





# Unità 10

## Le reti



### Visone d'insieme

- Significato di rete informatica.
- Come è fatta e come funziona una rete.
- Introduzione alla rete Internet.

## 1 Introduzione

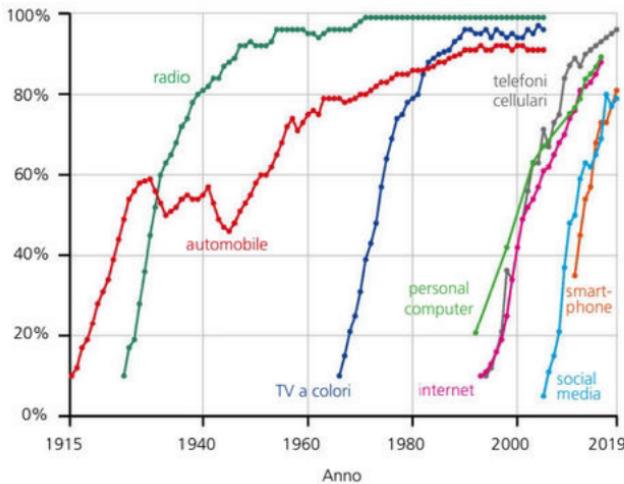
La convergenza dei sistemi di elaborazione e delle reti di telecomunicazione ha reso sempre più facile la comunicazione tra persone e cose. La conseguenza è che in ogni istante circolano in rete miliardi di terabyte di dati, con profonde conseguenze sociali.

A titolo di esempio, la **Figura 1** mostra la diffusione delle principali tecnologie negli ultimi decenni, paragonata a quella delle tecnologie meno recenti.

I fenomeni legati alla comunicazione stanno diventando sempre più complessi, coinvolgendo molti aspetti. Per questo motivo negli ultimi anni i team di ricerca sono formati da persone esperte in diverse discipline quali, per esempio, la matematica, la fisica, l'informatica, la statistica, l'architettura, la filosofia, la medicina, la psicologia, l'economia.

In questa sede ci limiteremo ad approfondire gli aspetti tecnici legati alle reti informatiche e alle loro applicazioni, tenendo in considerazione le leggi scientifiche che regolano i sistemi complessi naturali e artificiali, di cui le reti, come per esempio Internet, sono parte.

→ **Fig. 1** Quota di famiglie statunitensi che utilizzano specifiche tecnologie, dal 1915 al 2019. (Tratto con modifiche da Esteban Ortiz-Ospina, 2019, «The rise of social media». Pubblicato su OurWorldInData.org con licenza CC BY.)



## 2 I sistemi complessi

Un **sistema complesso** è un sistema composto da un numero molto grande di componenti; le interazioni e le relazioni di queste componenti definiscono il comportamento globale del sistema.

Per molto tempo si è pensato che sarebbe bastato studiare le singole parti di un sistema per comprenderne il funzionamento complessivo, ma non è così.

In un sistema complesso le leggi che regolano le relazioni tra i componenti (ad esempio la struttura ad archi del ponte in **Figura 2** a pagina seguente) sono più importanti dei componenti stessi (le pietre).

## Comprendi con l'analogia

Un sistema complesso è come un ponte, che esiste sia grazie alle singole pietre sia grazie agli archi che le connettono

«Marco Polo descrive un ponte, pietra per pietra.

– Ma qual è la pietra che sostiene il ponte? – chiede Kublai Kan.

– Il ponte non è sostenuto da questa o quella pietra, – risponde Marco – ma dalla linea dell'arco che esse formano.

Kublai Kan rimane silenzioso, riflettendo.

Poi soggiunge: – Perché mi parli delle pietre? È solo dell'arco che m'importa.

Polo risponde: – Senza pietre non c'è arco.»

Italo Calvino, «Le città invisibili», Mondadori, 1972

In questo colloquio tra Marco Polo e Kublai Kan, immaginato dallo scrittore Italo Calvino nel libro *Le città invisibili*, Marco Polo evidenzia a Kublai Kan che un ponte non è sostenuto dalle singole pietre di cui è fatto, ma dalla struttura formata dalle pietre stesse. Chi tenta di spiegare come possa esistere un ponte tenendo conto solo delle singole componenti (le pietre) non vi riesce: assume una prospettiva che viene chiamata riduzionismo. Ma una volta sottolineato il fatto che sistemi complessi come i ponti esistono grazie agli archi, Marco Polo pone l'accento anche sul fatto complementare: senza le pietre non vi sarebbero gli archi che le connettono.



Fig. 2 Quando osserviamo le pietre di un ponte non riusciamo a comprendere come esso possa reggersi. Per capirlo, dobbiamo osservare la struttura delle arcate. In generale, è la visione complessiva dell'opera che ci aiuta a capire le sue proprietà.

Le parti che costituiscono un sistema complesso, prese singolarmente, non riescono a spiegare il funzionamento globale. È la loro interazione che fa emergere un comportamento collettivo, che si presenta spontaneamente e non dipende da un controllo centrale.

Sistemi molto diversi tra loro, come lo stato del ghiaccio che fonde, il volo di uno stormo di uccelli, una rete sociale, una rete aeroportuale o una rete di computer, possono mostrare comportamenti simili, regolati dalle stesse leggi matematiche. Per comprendere i sistemi complessi, la cosa importante è scoprire **le relazioni che si creano tra i componenti**.

### Pit Stop

1 Che cos'è un sistema complesso?

2 Perché è fondamentale l'interazione tra le parti di un sistema?

## La parola a... Giorgio Parisi

Giorgio Parisi, premio Nobel per la fisica 2021, ha avuto il merito di portare all'attenzione del grande pubblico i «sistemi complessi». A partire dallo studio del volo degli stormi, Parisi ha studiato i «comportamenti collettivi complessi» che coinvolgono atomi e molecole, ma anche animali, persone, leggi economiche e siti web.

Lasciamo a lui la parola...

«Il volo degli stormi mi affascinava in maniera particolare perché [permetteva] di capire il comportamento di un sistema composto da un gran numero di componenti (attori) interagenti. Nella fisica, a seconda dei casi, gli attori possono essere elettroni, atomi, spin, molecole; hanno delle regole di comportamento molto semplici, ma presi tutti insieme danno luogo a un comportamento collettivo molto più complesso. [...] Le interazioni si possono schematizzare con regole semplici, ma i risultati dell'azione collettiva possono essere davvero inaspettati.»

Giorgio Parisi, «In un volo di stormi», Rizzoli, 2021

## La parola a... Albert-László Barabási

Albert-László Barabási è professore presso l'Università di Notre Dame (USA) e direttore al Centro di Ricerca Reti Complesse alla Northeastern University. Ha dato una svolta alla teoria delle reti introducendo, nel 1999, il concetto di reti a invarianza di scala.

Ma lasciamo che sia lui a spiegarci l'importanza delle reti.

«La buona notizia è che, da qualche tempo, gli scienziati hanno imparato a disegnare il tracciato delle nostre interconnessioni. Le loro mappe gettano una luce nuova sull'ordito del nostro universo, offrendo sfide e sorprese fino a pochi anni fa inimmaginabili. Mappe dettagliatissime della rete Internet hanno svelato agli hacker la vulnerabilità del sistema; mappe dei rapporti finanziari e proprietari di diverse società hanno disegnato il profilo del potere e del denaro nella Silicon Valley; mappe delle interazioni fra le specie negli ecosistemi hanno aperto degli spiragli sull'impatto distruttivo dell'uomo sull'ambiente; mappe dei geni che lavorano insieme in una cellula hanno permesso nuove scoperte sui meccanismi del cancro. Ma la vera sorpresa è arrivata quando queste mappe sono state accostate l'una all'altra. Si è visto che, proprio come gli esseri umani che condividono scheletri pressoché indistinguibili, le diverse mappe seguono un'impronta comune. Una serie di recenti scoperte mozzafiato ci ha messi di fronte al fatto che alcune leggi naturali, di vasta portata e incredibilmente semplici, governano la struttura e l'evoluzione di tutte le reti complesse che ci circondano».

Albert-László Barabási, «Link. La scienza delle reti», Einaudi, 2004

## 3 Teoria delle reti

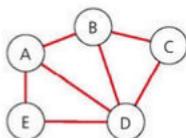


Fig. 3 Grafo non orientato con cinque nodi e sette archi.

Una rete è un insieme di nodi collegati tra loro, che permette a cose e persone di comunicare.

Una rete può essere rappresentata con un grafo, un insieme di nodi collegati da archi (Figura 3).

La topologia (dal greco *tópos* = luogo, e *lógos* = studio) studia la disposizione geometrica dei nodi.

I collegamenti, rappresentati come linee, costituiscono il «fascio di nervi» che permette la comunicazione tra i nodi. In un grafo orientato gli archi hanno una direzione indicata con una freccia. Se il grafo non è orientato gli archi non hanno una direzione privilegiata e l'arco può essere percorso in entrambi i sensi.

Ogni giorno abbiamo a che fare con le reti: accediamo alla rete Internet, guardiamo reti televisive, percorriamo reti stradali e ferroviarie, utilizziamo la rete telefonica, partecipiamo alle reti sociali, ecc.

### ■ Reti con distribuzione casuale e reti a invarianza di scala

Prendiamo in considerazione due particolari tipi di reti:

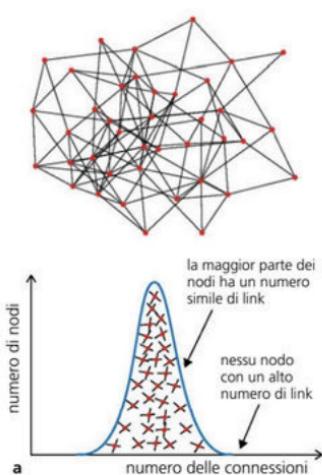
- **reti con distribuzione casuale dei nodi:** i nodi di queste reti sono collegati casualmente. Ciascun nodo ha un numero di collegamenti che è, più o meno, identico e la distribuzione del numero di collegamenti di ogni nodo può essere rappresentata graficamente da una curva a campana (come accade, per esempio, con gli svincoli autostradali (Figura 4a)). In tal caso tutti i nodi hanno approssimativamente lo stesso grado, cioè lo stesso numero di link;

### Pit Stop

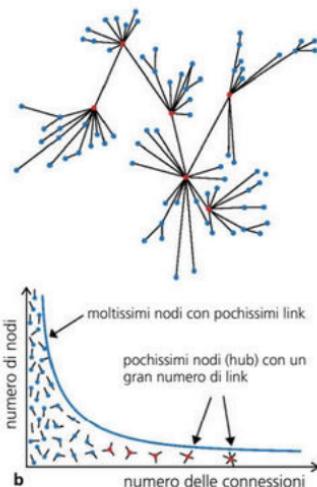
- 3 Che cos'è una rete?
- 4 Come si può rappresentare una rete?
- 5 La topologia di che cosa si occupa?

- **reti a invarianza di scala (scale-free):** i nodi di queste reti sono raggruppati in tante piccole comunità («piccoli mondi») (ne sono un esempio le reti aeroportuali) ed esistono dei nodi particolari (gli **hub**) che hanno un numero molto elevato di connessioni, mentre tutti gli altri hanno pochi collegamenti. La distribuzione dei nodi nelle reti a invarianza di scala è regolata dalla «legge di potenza» caratterizzata dalla **funzione esponenziale**  $f(x) = ax^k$  in cui l'esponente, diverso per i diversi tipi di rete, risulta quasi sempre compreso tra -1 e -3, e la cui rappresentazione grafica è una curva che tende a zero con una lunga coda dove si trovano i pochi hub con moltissimi link (**Figura 4b**).

Reti con distribuzione casuale dei nodi



Reti a invarianza di scala (scale-free)



↑ **Fig. 4** Topologia e curva delle reti casuali e delle reti scale-free. **a** Una rete casuale, in cui la maggior parte dei nodi ha lo stesso numero di link, seguendo la classica distribuzione a campana (gaussiana). Non c'è gerarchia tra i nodi. **b** Nelle reti scale-free, chiamate anche reti secondo il modello di Barabási-Albert, dal nome dei due studiosi che per primi le hanno teorizzate, la distribuzione dei collegamenti segue la legge di potenza. Gli hub sono contrassegnati in rosso.

## ■ Le caratteristiche delle reti a invarianza di scala

Le reti **a invarianza di scala** sono quelle più interessanti perché caratterizzano i sistemi complessi, come Internet e le reti sociali.

- I legami tra i nodi di un «piccolo mondo» sono molto stretti, mentre i collegamenti tra comunità diverse sono più deboli, ma sono proprio i **legami deboli la vera forza della rete**. Queste reti presentano un basso grado di separazione: è possibile raggiungere anche le comunità più lontane con un numero ridotto di salti.

## ■ notabene

In questo contesto un HUB è un nodo (non necessariamente informatico) che fa da connettore tra le reti.

## ■ Pit Stop

- 6** Quale differenza c'è tra una rete con distribuzione casuale dei nodi e una rete a invarianza di scala?

## ■ notabene

Secondo la teoria dei «Sei gradi di separazione» una persona può collegarsi a qualsiasi altra attraverso una catena di conoscenze che non ha più di cinque intermediari.

Pensiamo a una famiglia. I rapporti tra genitori e figli, o tra fratelli e sorelle, sono molto stretti, mentre i legami con le famiglie dei cugini sono meno forti. Di solito, però, c'è uno zio o una zia in comune, che mantiene i contatti anche con i parenti più lontani e a cui ci si rivolge per raggiungerli facilmente quando serve.

- Gli **hub** (o «nodi connettori») hanno il potere di «attrarre» gli altri nodi. Basta osservare un social network o il web, dove i più famosi influencer, o i siti più conosciuti, hanno il potere di attrarre molti follower. L'elevato numero di «seguaci» ne attira altri, creando un circolo vizioso dove chi è ricco di collegamenti diventa sempre più ricco e aumenta sempre più il divario fra il numero di link degli hub e il numero di link degli altri nodi.
- La topologia delle reti a invarianza di scala le rende particolarmente **robuste** rispetto al guasto o all'eliminazione di un certo numero di nodi. Infatti è probabile che un danno casuale si verifichi su uno dei moltissimi nodi che hanno pochi collegamenti, con un effetto trascurabile sull'intera rete. Viceversa, portare intenzionalmente un attacco a un hub può danneggiare l'intera rete o una parte consistente di essa.

### ■ **notabene**

Le leggi di potenza sono universali per tutte le reti complesse e la «robustezza» riguarda anche gli organismi viventi. Ad esempio, la mutazione e l'eliminazione di un gene a caso ha effetti quasi sempre trascurabili, ma non è la stessa cosa se si toccano geni particolari.

### ■ **Pit Stop**

- 7 Che cosa si intende per "rete a basso grado di separazione"?
- 8 Perché le reti a invarianza di scala sono robuste?

## Comprendi con l'analogia

### La legge di potenza è come la scuola dei paradossi

Che cosa accade durante l'intervallo nella scuola di Alice e Bernardo, dove vale la *legge di potenza*? Accade un paradosso.

Sono le 10 e sta suonando la campanella dell'intervallo. Alice è già in piedi e sta raggiungendo la porta della classe, perché oggi deve incontrarsi con il suo amico Bernardo. L'appuntamento è al bar della scuola. Alice è alta un metro e settanta e, camminando per il corridoio che porta al bar, incontra i compagni che hanno più o meno la stessa altezza, anche se Franco in realtà è alto un metro e novanta e Giulia un metro e sessanta. Finalmente le si fa incontro Bernardo.

«Ciao Bernardo, sono contenta di vederti. Come stai?»

«Molto bene oggi. Vuoi una cioccolata?»

«Sì, è stata micidiale questa verifica di storia e ho bisogno di qualcosa che mi dia un po' di energia.»

La conversazione prosegue per un po'. Poi i due si salutano e ognuno torna in classe.

In tutto ciò non ci sarebbe nulla di straordinario, se non fosse che in realtà Bernardo è alto 10000 metri e che Alice non si è minimamente stupita della sua altezza e che a nessuno degli studenti che erano con loro al bar è parsa una cosa strana!



## 4 Le reti informatiche

Se restiamo isolati la nostra vita si impoverisce. La condivisione di esperienze ed emozioni ci dà modo di partecipare alla vita sociale e valorizzare le nostre attività. La stessa cosa avviene anche per i dispositivi connessi in rete.

Un tablet o un PC che non possono collegarsi a Internet, una lampadina intelligente o un sistema di allarme che non sono controllabili da remoto sono, di fatto, inservibili o quasi.

Una **rete informatica** è una rete che comprende i seguenti elementi (**Tabella 1**).

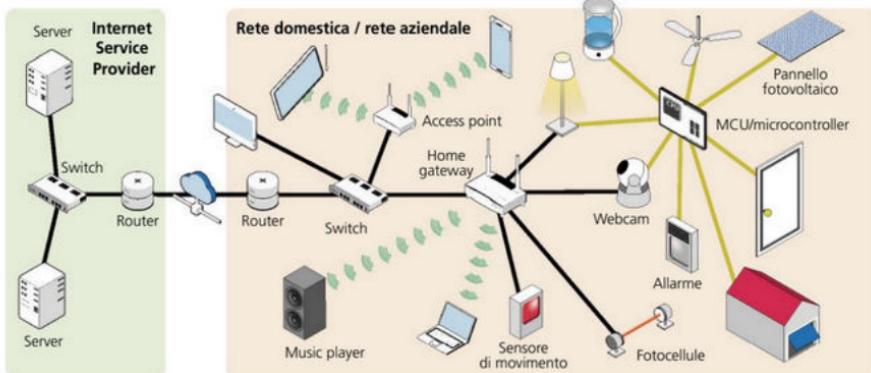
| Elemento della rete                         | Utilizzo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mezzi fisici di trasmissione (media)</b> | Trasportano i segnali da un dispositivo all'altro. Possiamo pensarli come lo scheletro di una rete. I più usati sono:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>cavi di rame</b>, per trasmettere segnali elettrici;</li> <li>• <b>fibra ottica</b>, per trasmettere onde luminose;</li> <li>• <b>etero</b> (aria o vuoto), per trasmettere segnali radio.</li> </ul> |
| <b>Dispositivi finali</b>                   | Sono i dispositivi utilizzati dall'utente finale. Ne sono esempi: computer, smartphone, sistemi intelligenti. Spesso vengono chiamati <b>host</b> e sono sempre identificati da un indirizzo.                                                                                                                                                                              |
| <b>Dispositivi intermedi</b>                | Sono dispositivi che consentono la circolazione dei dati in rete. Ne sono esempi: <b>switch</b> , <b>router</b> e <b>access point</b> .                                                                                                                                                                                                                                    |

Le schede di interfaccia (NIC – *Network Interface Card*) permettono ai dispositivi di collegarsi alla rete tramite le **porte fisiche** (interfacce di rete).

◀ Tab. 1

La **Figura 5** mostra un esempio di rete, che potrebbe essere molto simile a quella di una casa intelligente che si collega a un provider (fornitore di servizi). I dispositivi intelligenti sono controllati da un MCU. Un home gateway gestisce le funzioni di casa. Uno switch collega gli altri dispositivi presenti in rete e, tramite il router, si collega alla rete Internet.

↓ Fig. 5 Esempio di rete informatica: i nodi intermedi interconnettono i dispositivi utente.



**Pit Stop**

**9** Quali sono i tre elementi di una rete informatica?

**10** Enuncia i vantaggi e le criticità di una rete informatica.

Le reti informatiche offrono numerosi vantaggi e opportunità a fronte di alcune criticità, come mostra la **Tabella 2**.

| Opportunità                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Condivisione di risorse.</b> Tramite le reti è possibile condividere: <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilizzo di dispositivi hardware (dischi, stampanti, sistemi di trasmissione...);</li> <li>• applicazioni software distribuite;</li> <li>• informazioni.</li> </ul>                                 |
| <b>Comunicazione tra utenti.</b> Gli utenti di una rete possono comunicare tra loro in molti modi, tra cui: <ul style="list-style-type: none"> <li>• social network;</li> <li>• e-commerce;</li> <li>• giochi interattivi;</li> <li>• video on demand;</li> <li>• videoconferenza;</li> <li>• smart working.</li> </ul> |
| <b>Comunicazione tra «cose».</b> Gli oggetti possono inviare o ricevere dati (IoT): <ul style="list-style-type: none"> <li>• lampadina intelligente;</li> <li>• smart city;</li> <li>• ...</li> </ul>                                                                                                                   |
| <b>Affidabilità (toleranza ai guasti).</b> La rete permette di: <ul style="list-style-type: none"> <li>• salvare e duplicare i dati su diverse unità;</li> <li>• fornire percorsi alternativi per arrivare al nodo di destinazione anche in caso di guasto di un nodo intermedio o tratto di rete.</li> </ul>           |
| <b>Efficienza.</b> Tramite le reti è possibile aumentare la velocità delle operazioni di calcolo su più sistemi in contemporanea.                                                                                                                                                                                       |
| <b>Riduzione dei costi.</b> Una rete di computer costa molto meno di un grosso calcolatore centralizzato (main-frame), pur fornendo una potenza di calcolo globale paragonabile o superiore.                                                                                                                            |
| Criticità                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Sicurezza e vulnerabilità.</b> La sicurezza è il tallone d'Achille delle reti: l'interconnessione dei sistemi permette la diffusione di virus e informazioni false o non attendibili, inoltre espone ad attacchi informatici.                                                                                        |
| <b>Amministrazione della rete.</b> Una rete necessita di competenze specifiche per la gestione, che comprende, per esempio, l'installazione, la configurazione, la ricerca di guasti, il monitoraggio, ...                                                                                                              |

→ **Tab. 2** Opportunità e criticità delle reti informatiche.

## 5 La classificazione delle reti informatiche

Le reti possono essere classificate in base a determinate caratteristiche quali:

- l'estensione geografica;
- la topologia;
- l'architettura.

### ■ Classificazione per estensione

In base all'estensione dell'area geografica su cui operano, le reti possono essere classificate in:

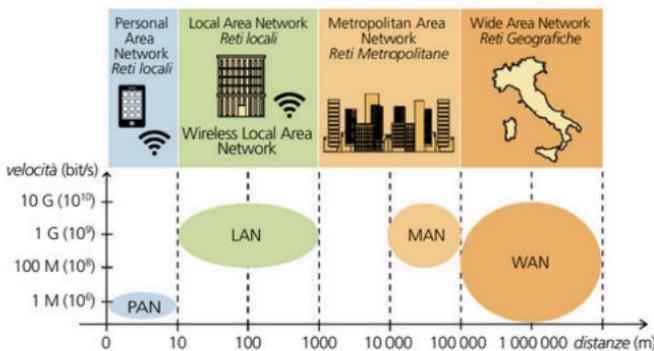
- **PAN (Personal Area Network)**: l'area di copertura è di pochi metri. Sono reti a uso esclusivamente personale;

- **LAN (Local Area Network – Reti locali)**: l'area di copertura è quella di un edificio o di un comprensorio (edifici limitrofi);
- **MAN (Metropolitan Area Network)**: l'area di copertura è quella urbana (una città);
- **WAN (Wide Area Network – Reti geografiche)**: l'area di copertura è considerevole, potendo giungere fino all'intero globo.

Particolarmente rilevanti, per i nostri studi, sono le LAN e le WAN.

Le **LAN** sono presenti nelle case private, negli uffici di società o di enti pubblici. Le LAN possono essere collegate tra loro tramite le reti **WAN**, che comprendono regioni e nazioni o, come nel caso di Internet, l'intero pianeta.

La **Tavola 3** mette in relazione, a livello qualitativo e quantitativo, distanze e velocità per le diverse reti.



↓ Tab. 3 I tipi di rete e le loro caratteristiche. Il grafico mostra, in forma sintetica, l'ordine di grandezza delle velocità e delle distanze comparative per PAN, LAN, MAN e WAN.

| Distanza          | Dove si trovano              | Sigla | Velocità tipiche                          |
|-------------------|------------------------------|-------|-------------------------------------------|
| 1 - 10 m          | Vicine all'utente            | PAN   | 1 - 3 Mbps (Bluetooth)                    |
| 10 - 100 - 1000 m | Stanza, ufficio, edificio    | LAN   | 100 Mbps - 10 Gbps                        |
| 10 - 100 km       | Città, area regionale        | MAN   | 100 Mbps - 10 Gbps                        |
| 100 - 10 000 km   | Nazione, continente, pianeta | WAN   | Connessioni a banda larga: fino a 10 Gbps |

### ■ Classificazione per topologia

La topologia di una rete indica il modo in cui i nodi sono collegati, da cui deriva la modalità di comunicazione tra i nodi. La tradizionale classificazione delle reti per topologia è la seguente:

- topologia a stella;
- topologia a bus;
- topologia ad anello;
- topologia a maglia.

In genere le LAN utilizzano la topologia a stella, le WAN la topologia a maglia.

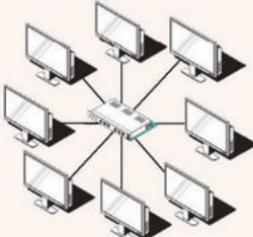
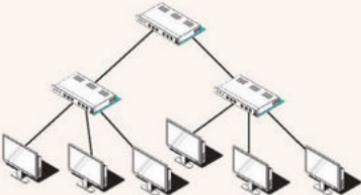
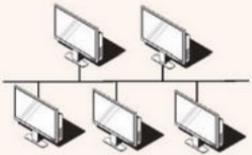
### Pit Stop

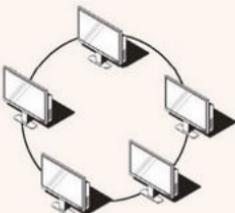
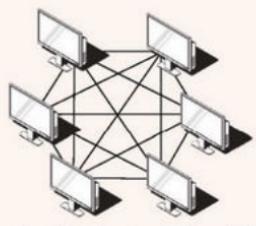
11 Quali sono i tre criteri di classificazione delle reti informatiche?

12 Quale differenza di estensione esiste tra una LAN e una WAN?

↓ Tab. 4 Le caratteristiche principali delle diverse topologie di rete.

La Tabella 4 sintetizza le caratteristiche principali delle diverse topologie di rete.

| Topologia                | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Caratteristiche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Star<br/>(Stella)</b> |  <p>Tutti i nodi della rete sono collegati a un nodo centrale. Una derivazione della topologia a stella è la <b>topologia ad albero</b>, in cui più reti a stella sono connesse tra loro mediante un centro stella gerarchicamente superiore.</p>  | <p>È la topologia tipica delle reti LAN. In genere è realizzata con collegamenti in rame o in fibra ottica. Le reti wireless fanno capo a un Access Point collegato al centro stella. È attualmente la più utilizzata in assoluto e in particolare è impiegata nelle reti Ethernet.</p> <p><b>Come avviene la comunicazione tra gli host</b><br/>Se due host collegati allo stesso centro stella devono comunicare tra loro, il mittente invia un messaggio al centro stella che lo inoltra al destinatario.</p> <p><b>Vantaggi</b> È facile da installare e manutenere ed espandere.</p> <p><b>Svantaggi</b> L'affidabilità della rete si basa sul centro stella: in caso di guasto la rete si blocca.</p> |
| <b>Bus (Dorsale)</b>     |  <p>Tutti i nodi della rete sono collegati a un'unica dorsale che costituisce il mezzo fisico di trasmissione condiviso, detto <i>bus</i>.</p>                                                                                                                                                                                     | <p>Ha avuto molto successo nelle prime LAN, ma poi è stata sostituita dalla topologia a stella.</p> <p><b>Come avviene la comunicazione tra gli host</b><br/>Se due host collegati allo stesso bus devono comunicare tra loro, il mittente invia un messaggio sul bus. Tutti lo ricevono, ma solo il destinatario lo trattiene.</p> <p><b>Vantaggi</b> È facile da installare.</p> <p><b>Svantaggi</b> Difficile da espandere; la trasmissione di messaggi contemporanea da parte di più stazioni può determinare una collisione con conseguente perdita del messaggio; se il bus si guasta, un ramo della rete è fuori uso.</p>                                                                            |

|                                                                                                               |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Ring (Anello)</b></p>  | <p>Tutti i nodi della rete sono collegati tra loro in modalità punto-punto (ciascuno è collegato a un altro) in una configurazione circolare.</p> | <p>Topologia nata per le LAN, ormai non è più utilizzata, salvo in casi specifici.</p> <p><b>Come avviene la comunicazione tra gli host</b></p> <p>Quando due nodi dell'anello devono comunicare, il mittente invia il messaggio in circolo, passandolo al nodo successivo.</p> <p>La trasmissione può essere <b>unidirezionale</b> (in questo caso ogni nodo riceve il messaggio dal precedente e lo invia al nodo successivo) o <b>bidirezionale</b> (in questo caso ogni nodo può trasmettere e ricevere sia dal precedente sia dal successivo).</p> <p><b>Vantaggi</b> Semplice da cablare ed economica.</p> <p><b>Svantaggi</b> Nel caso di trasmissione unidirezionale, se un nodo o un collegamento si guasta, l'intera rete è compromessa. Questo svantaggio si supera con la trasmissione bidirezionale.</p>                                                                                                                           |
| <p><b>Mesh (Maglia)</b></p>  | <p>Ogni nodo è collegato ad altri nodi della rete. Dispone di percorsi alternativi per raggiungere i nodi, garantendo affidabilità.</p>           | <p>È una topologia per reti WAN.</p> <p>La topologia a maglia (parziale) è quella che meglio si adatta quando le unità da connettere sono in quantità elevate, come capita nelle reti geografiche (WAN).</p> <p>Quando ogni nodo è collegato a tutti gli altri nodi la maglia è detta <i>completamente connessa</i>.</p> <p><b>Come avviene la comunicazione tra gli host</b></p> <p>Una rete a maglia è utilizzata nelle reti WAN per collegare reti LAN. I nodi di una rete a maglia sono dispositivi che interconnettono reti diverse (router). Per arrivare a destinazione un messaggio deve passare da un router all'altro fino a che non giunge alla LAN di destinazione.</p> <p><b>Vantaggi</b> La possibilità di collegare i nodi con percorsi alternativi consente il collegamento tra mittente e destinatario anche in caso di interruzioni o malfunzionamenti di tratti di rete.</p> <p><b>Svantaggi</b> Complessità della rete.</p> |

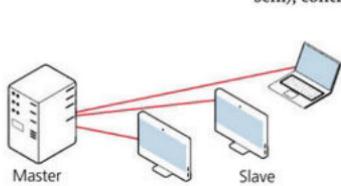
## ■ Classificazione per architettura

L'architettura delle reti riguarda il modo in cui le reti funzionano e può essere di tre tipi:

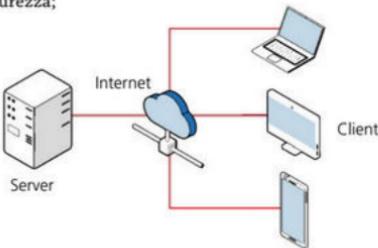
- **Master-Slave.** Un dispositivo o processo software (master) controlla gli altri dispositivi connessi in rete (slave) ([Figura 6](#) a pagina seguente). Il master interroga o invia comandi alle varie stazioni regolando il traffico dei dati.

I processi slave non comunicano tra loro, ma devono passare dal master, che è responsabile della sincronizzazione. Questa architettura ha avuto molto successo in passato, ed è presente ancora nella gestione dei dischi o nelle tecnologie USB, Bluetooth, nelle reti PAN e nei sistemi IoT;

- **Client-Server.** È il tipico modello di Internet e delle reti moderne. È richiesta la presenza di un server (fornitore dei servizi) che si occupi di rispondere alle richieste che gli vengono inoltrate dai client ([Figura 7](#)). Un server può svolgere diverse funzioni: elaborazione di dati, condivisione di applicazioni software, centralizzazione e condivisione di risorse (database, stampanti, dischi), controllo accessi e sicurezza;



[Fig. 6](#) Nel modello Master-Slave un singolo processo (il master) ha il controllo su uno o più processi (gli slave).



[Fig. 7](#) Esempio di architettura Client-Server.

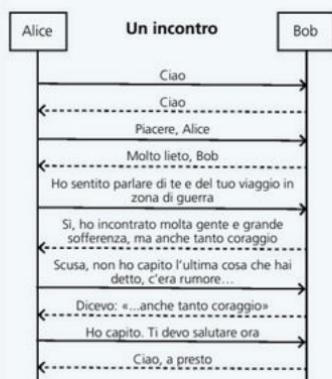
- **Peer-to-Peer.** I dispositivi sono tutti «alla pari», senza alcun punto di controllo centralizzato. Ogni dispositivo risponde dei propri servizi che possono essere condivisi. Solitamente queste reti coinvolgono pochi dispositivi.

## 6 Protocolli di comunicazione

Comprì uno smartphone, fai un contratto con un operatore telefonico e ti colleghi alla rete. Sul display compaiono le tacche che indicano la qualità del segnale. Tecnicamente sei connesso a una rete, ma è sufficiente per comunicare?

La risposta è no: sarebbe impossibile comunicare se non esistessero appositi protocolli.

Un mezzo fisico può trasportare dei segnali, ma ciò non è sufficiente per comunicare. Servono delle **regole** per **aprire**, **mantenere** e **chiudere la comunicazione**.



### Esempio 1

Anche in una semplice telefonata si applicano delle regole: apertura e chiusura con i saluti di rito, utilizzo della stessa lingua, richiesta di ritrasmissione in caso di comunicazione disturbata. Ci serviamo di un **diagramma di sequenza**, abbastanza intuitivo, per seguire le fasi della comunicazione. I diagrammi di sequenza sono utilizzati per le comunicazioni tra due o più entità. Il loro scopo è mostrare il comportamento dinamico del sistema, cioè le interazioni che avvengono con il passare del tempo. L'asse verticale del diagramma mostra il tempo, mentre orizzontalmente sono rappresentate le azioni che intercorrono tra le parti.

Un **protocollo di comunicazione** è un insieme di regole che definisce l'ordine e il formato dei messaggi scambiati tra due interlocutori. Affinché la comunicazione avvenga in modo corretto, il protocollo deve essere concordato tra le due parti. Anche due macchine che comunicano tra loro devono rispettare dei **protocolli di comunicazione**.

I protocolli utilizzati dalle macchine, per esempio i nodi di una rete, devono essere molto precisi e non ambigui perché le macchine, a differenza delle persone, non dispongono di tutti gli elementi verbali e non verbali utili alla comunicazione.

I protocolli di comunicazione usati in rete sono chiamati **protocolli di rete** e offrono servizi come:

- l'**indirizzamento**, per identificare il mittente e il destinatario del messaggio;
- la **formattazione dei messaggi**, per stabilire il formato, la codifica e la lunghezza dei messaggi;
- l'**affidabilità** della trasmissione, che consiste nel rilevare messaggi danneggiati ed eventualmente chiedere la ritrasmissione per ottenerli corretti;
- il **controllo di flusso** che il ricevitore impone al trasmettitore per controllare il ritmo di invio dei messaggi. Questa tecnica fa in modo che il ricevitore non sia raggiunto da una quantità di messaggi superiore alla sua capacità di ricezione.

### Comprendi con l'analogia

Anche gli animali hanno bisogno di un protocollo per comunicare

Cani e gatti fanno fatica a capirsi perché usano protocolli di comunicazione differenti e talvolta opposti. Il cane agita la coda per la felicità, al contrario del gatto che la agita quando è nervoso. Il gatto fa le fusa, il cane usa suoni bassi per ringhiare. Il gatto fissa negli occhi per comunicare, il cane lo ritiene un gesto di sfida.



## 7 Standard internazionali

In origine ogni casa produttrice era proprietaria dei protocolli che aveva creato per le proprie apparecchiature. Questo ha determinato un limite all'utilizzo di dispositivi di marche diverse.

La creazione di standard universali («de iure») ha cercato di porre ordine nella babel dei protocolli, inglobando spesso anche quelli che, col tempo, si erano imposti sul mercato, diventando degli standard «de facto».

Organizzazioni mondiali come ISO (*International Standard Organization*) oppure IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e IETF (*Internet Engineering Task Force*) raccolgono le esigenze di fornitori e clienti, le studiano, e propongono standard a cui adeguarsi.

I documenti descrivono, per esempio, i requisiti fisici dei dispositivi, ad esempio i livelli di tensione e corrente, e le procedure di comunicazione, ad esempio lo scambio di messaggi tra un client e un server.

La **Tabella 5** a pagina seguente elenca le organizzazioni più importanti e il loro ruolo.

### Pit Stop

- 13 Che cos'è un protocollo di comunicazione?
- 14 Un protocollo di rete quali servizi offre?

### notabene

Gli standard ricadono entro due grandi categorie:

- **standard de iure** (dal latino: «per legge») formali, adottati da organismi di standardizzazione internazionali;
- **standard de facto** (dal latino: «di fatto»), stabiliti senza piani formali.

| Autorità per gli standard internazionali                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ISO (International Standard Organization)</b><br>                | È il principale ente di standardizzazione internazionale. Fondato nel 1947, i suoi membri sono gli organismi di standardizzazione nazionali dei singoli Paesi. Le <b>norme ISO</b> comprendono standard industriali, di qualità e sicurezza che vanno dai bulloni, al rivestimento di pali telefonici, alle noci di cocco e alle... reti. |
| <b>ITU (International Telecommunication Union)</b><br>              | È un'agenzia delle Nazioni Unite che offre «raccomandazioni» che i governi possono adottare o ignorare, a loro scelta: una nazione che volesse adottare uno standard telefonico diverso da quello usato dal resto del mondo potrebbe farlo, ma al prezzo di autoemarginarsi da tutti gli altri Paesi.                                     |
| <b>IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)</b><br> | È l'organizzazione mondiale degli ingegneri elettrici ed elettronici. Il comitato IEEE 802 si interessa degli standard applicati alle LAN, come per esempio 802.3 (Ethernet) e 802.11 (Wireless LAN).                                                                                                                                     |

↑ Tab. 5 Principali autorità nel mondo per la definizione degli standard internazionali.

La seguente Tabella 6 descrive le organizzazioni, collegate fra loro, che definiscono gli specifici standard internazionali per Internet.

| Standard Internet                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ISOC (Internet Society)</b><br>                  | L'obiettivo di ISOC è «assicurare il libero sviluppo, l'evoluzione e l'utilizzo di Internet a beneficio di tutte le persone nel mondo».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>IAB (Internet Architecture Board)</b><br>         | IAB è il comitato che prende le decisioni finali su nuovi standard da adottare.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>IETF (Internet Engineering Task Force)</b><br> | <b>IETF</b> è il comitato rivolto agli aspetti di ingegnerizzazione della rete Internet. Il comitato elabora ed emette i rapporti tecnici chiamati <b>RFC (Request For Comments)</b> a cui è necessario attenersi strettamente, pena la perdita di compatibilità con il resto del mondo. Gli RFC sono documenti numerati, che definiscono protocolli come IP, TCP, HTTP, SMTP ecc. Ce ne sono quasi 10 000 e continuano a crescere per far fronte alle nuove esigenze di Internet. La loro numerazione segue un percorso temporale, a partire dal primo, che porta il numero uno (sotto). |

Network Working Group  
Request for Comments: 1

Steve Crocker  
UCLA  
7 April 1969

Title: Host Software  
Author: Steve Crocker  
Comments: 1  
Date: 7 April 1969  
Network Working Group Request for Comments: 1



|                                                                                                                                                                    |                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>ICANN</b> (<i>Internet Corporation for Assigned Names and Numbers</i>)</p>  | <p>ICANN è responsabile delle decisioni politiche riguardanti lo spazio dei nomi (DNS) e degli indirizzi IP.</p> |
| <p><b>IANA</b> (<i>Internet Assigned Numbers Authority</i>)</p>                   | <p>IANA dipende da ICANN e coordina l'indirizzamento IP e l'assegnamento dei nomi dei domini.</p>                |

### La parola a... Jon Postel

Jon Postel fu soprannominato il «Dio di Internet». Fino alla sua morte avvenuta nel 1998 fu uno degli amministratori di IANA e contribuì significativamente allo sviluppo degli standard della rete. Per anni promosse la diffusione degli standard RFC e fu arbitro nelle controversie tecniche raggiungendo sempre il consenso generale. Riteneva che il suo lavoro dovesse contribuire al bene dell'umanità senza fini personali e credeva profondamente nella collaborazione. Affermava che «ovviamente, non c'è nessun Dio di Internet. Internet funziona perché molta gente coopera per fare cose insieme» e che «le implementazioni TCP seguono un principio generale di robustezza: sii prudente in ciò che fai, sii liberale in ciò che accetti dagli altri».

Tab. 6 Le organizzazioni internazionali che definiscono gli standard Internet.

## 8 Architettura di rete

L'architettura di rete (cioè l'insieme delle caratteristiche che determinano come è fatta e come funziona una rete) è basata su un modello costituito da **livelli sovrapposti**.

Un livello (layer o strato) è un insieme di software utili per la soluzione di un determinato problema. La caratteristica principale di ogni livello è che deve fornire servizi al livello superiore nascondendo i dettagli dell'implementazione. Il livello più alto è quello più vicino all'utente, il livello più basso è quello più vicino all'hardware, il mezzo fisico di trasmissione.

L'insieme dei livelli e dei relativi protocolli (*protocol stack*) costituisce l'**architettura di rete**.

Come si distinguono un modello di riferimento e un'architettura di rete?

- Un **modello di riferimento** descrive i compiti che ogni livello deve realizzare senza specificare come. Il modello indica quindi **che cosa** deve essere fatto perché una rete funzioni. Il più famoso modello di riferimento è il **modello ISO/OSI** (*Open Systems Interconnection*); esso è uno standard de iure.
- Una **architettura di rete** specifica i **protocolli** utilizzati e quindi indica **come** deve essere fatto quanto indicato dal modello di riferimento.

La più affermata architettura di rete è l'**architettura TCP/IP di Internet** (descritta in rfc1180), che mantiene la struttura a livelli del modello OSI, pur accorpando alcune funzioni. Essa si è affermata come uno standard de facto.

### Pit Stop

15 Che cos'è un livello di rete?

16 Qual è la caratteristica principale di un livello di rete?

17 Da che cosa è costituita l'architettura di rete?

### notabene

Un modello è molto importante in campo scientifico e tecnico perché, tramite un processo di astrazione, mette in luce le caratteristiche principali di un sistema, trascurando i dettagli non interessanti.

Un'**architettura a livelli** è vantaggiosa perché permette di suddividere le funzionalità, riducendo la complessità del sistema di trasmissione facilitandone la realizzazione.

Di seguito sono descritte le principali caratteristiche generali di ogni livello. Ciascun livello:

- è un software. Solo lo strato più basso ha legami con la parte hardware ed elettromagnetica (i segnali);
- si serve dei servizi forniti dal livello inferiore e aggiunge ulteriori servizi che saranno utilizzati dal livello superiore;
- svolge esclusivamente il proprio compito ed è indipendente dagli altri livelli. I dettagli dell'implementazione sono nascosti ai livelli adiacenti, con i quali comunica tramite interfacce.

### Pit Stop

**18** Quali sono le tre caratteristiche principali di ogni livello?

## Comprendi con l'analogia

I livelli di un'architettura di rete sono come gli strati di un panino

Ogni livello del modello OSI risponde a caratteristiche proprie e aggiunge funzionalità al livello sottostante. L'interfaccia tra i livelli è fondamentale, perché è il punto che permette lo scambio delle informazioni. La stessa cosa capita a un ricco sandwich: il pane sostiene la struttura, la salsa dà gusto al pane, insalata, carne, formaggio, pomodori rendono ancor più appetitoso il tutto.

**Il panettone, al contrario, non risponde alle caratteristiche dei livelli OSI.**

Panettone



Sandwich a sette strati



Gli ingredienti sono mescolati insieme e la consistenza e il gusto sono gli stessi sopra o sotto, a destra o a sinistra.

Ogni strato è ben definito e composto da ingredienti diversi: alla base c'è la metà inferiore del pane, sopra ci sono l'insalata, poi la carne, il formaggio, i pomodori, la salsa e ancora il pane soffice.

Se capovolgo il panettone non cambia nulla.

Capovolgere il sandwich provoca risultati che ne alterano la struttura.

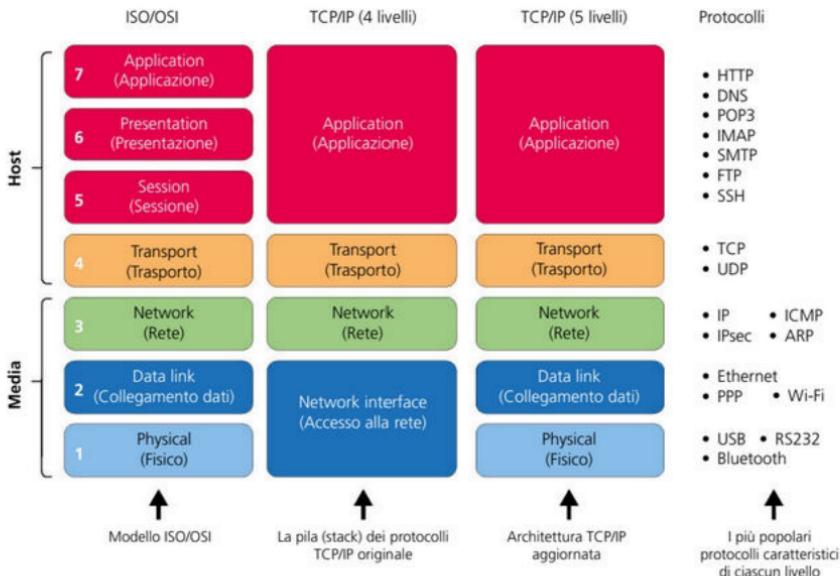
Non ci sono livelli.

Ogni strato superiore si appoggia a quello inferiore e fornisce dei valori aggiuntivi in termini d'immagine e di gusto.  
Il contatto tra gli strati è molto importante, perché essi devono interagire tra loro in modo corretto.

## 9 Il modello ISO/OSI e l'architettura TCP/IP

### ■ Il modello ISO/OSI

Il modello di riferimento OSI è stato proposto dall'ISO e descrive la struttura di una rete strutturata in **sette livelli** che ne comprendono tutte le funzionalità (Figura 8).



I livelli sono identificati da un numero (da 1 a 7 a partire dal basso) e dal nome relativo al servizio fornito:

- livello 1 (**Physical layer** - Livello Fisico);
- livello 2 (**Data link layer** - Livello Collegamento Dati);
- livello 3 (**Network layer** - Livello Rete);
- livello 4 (**Transport layer** - Livello Trasporto);
- livello 5 (**Session layer** - Livello Sessione);
- livello 6 (**Presentation layer** - Livello Presentazione Compito);
- livello 7 (**Application layer** - Livello Applicazione).

Ogni livello ha un compito, come è descritto nella [Tabella 7](#) a pagina seguente.

### L'architettura TCP/IP

L'Architettura TCP/IP è l'architettura della rete Internet e prende il nome dai protocolli TCP e IP che la caratterizzano e che specializzano la rete a partire dal livello 3 in su.

Questa architettura implementa i compiti definiti dal modello ISO/OSI nel seguente modo ([Figura 8](#)):

- il **Physical layer** e il **Data link layer** costituiscono i livelli bassi del modello, utili per l'**accesso alla rete** e per il collegamento punto-punto tra due nodi. Corrispondono ai livelli 1 e 2 del modello ISO/OSI.
- Lo stack TCP/IP non prescrive alcun protocollo di interfaccia alla rete, rendendo l'accesso alla rete fisica indipendente dai protocolli di rete superiori;

↑ Fig. 8 La figura mostra la corrispondenza tra i livelli del modello ISO/OSI e quelli dell'architettura Internet.

### notabene

L'RFC 1122 definisce il modello TCP/IP con quattro livelli, come mostrato al centro della [Figura 8](#). Nel corso del tempo si è iniziato a usare un modello informale composto da cinque livelli, in cui il livello di accesso alla rete è stato suddiviso in due livelli corrispondenti ai primi due livelli del modello ISO/OSI, come mostrato in [Figura 8](#) a destra.

- il **Network layer** utilizza il **protocollo IP** e corrisponde al livello 3 del modello ISO/OSI;
- il **Transport layer** utilizza il **protocollo TCP** e corrisponde al livello 4 del modello ISO/OSI;
- l'**Application layer** utilizza i protocolli applicativi di Internet e corrisponde ai livelli 5, 6, 7 del modello ISO/OSI.

Questa architettura si è imposta come standard de facto e ha un ruolo di primo piano nel mondo delle comunicazioni.

### ■ Il modello ISO/OSI e l'architettura TCP/IP a confronto

➔ **Tab. 7** I compiti dei sette livelli del modello ISO/OSI e la corrispondenza con l'architettura Internet.



Application  
Presentation  
Session  
Transport  
Network  
Data Link  
Physical



Application  
Transport  
Network  
Data Link  
Physical

**per ricordare:** «Please Do Not Touch Superman's Private Area»

#### Livello 1 Physical layer – Livello Fisico

**Compito:** realizzare la **connessione fisica** tra dispositivi.

- Lato mittente, riceve dal livello superiore la sequenza dei bit che costituiscono il dato da trasmettere.
- Codifica la sequenza di bit.
- Trasmette i bit sul mezzo fisico sotto forma di segnali opportunamente adattati al mezzo.
- Lato destinatario, decodifica il messaggio ricevuto e lo passa al livello Data link.

#### Livello 2 Data link layer – Livello Collegamento dati

**Compito:** consegnare il messaggio da un nodo della rete a un altro nodo fisicamente collegato (**comunicazione punto-punto**).

- Crea il messaggio (frame o trama) con gli indirizzi fisici di mittente e destinatario.
- Effettua l'error recovery: corregge gli errori di trasmissione, perdita o duplicazione dei dati.
- Attua il controllo del flusso per regolare la velocità di trasmissione.

**per ricordare:** «Please Do Not Teach Acronyms»

#### Physical layer - Livello Fisico

Corrisponde al livello 1 del modello OSI.

In particolare, al livello Fisico fanno riferimento:

- i protocolli **USB (Universal Serial Bus)**;
- il protocollo **Bluetooth**;
- i protocolli per l'interfaccia seriale **RS232**.

#### Data link layer - Livello Collegamento dati

Corrisponde al livello 2 del modello OSI.

In particolare:

- al livello Data link fanno riferimento i protocolli per le reti WAN, come **HDLC (High-Level Data Link Control)** e i protocolli relativi alle reti locali IEEE 802 (**Ethernet**, **Wi-Fi**);
- per l'accesso alle WAN sono utilizzate diverse varietà di protocolli, tra cui **PPP (Point-to-Point Protocol)** per la connessione a un fornitore di servizi in Internet.



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Livello 3 Network layer – Livello Rete</b></p> <p><b>Compito:</b> realizzare la <b>commutazione</b>, cioè determinare un percorso per collegare nodi della rete non direttamente connessi passando attraverso dei nodi intermedi (commutatori).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p><b>Network layer - Livello Rete</b><br/>Corrisponde al livello 3 del modello OSI.<br/>La comunicazione è realizzata tramite il <b>protocollo IP (Internet Protocol)</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>IP costituisce lo scheletro di Internet e permette di assegnare a ogni terminale un indirizzo che lo identifica univocamente in rete;</li> <li>il messaggio è organizzato in pacchetti che passano da un router all'altro seguendo il «migliore» percorso, fino ad arrivare a destinazione;</li> <li>IP nasconde alle applicazioni l'hardware di rete sottostante, rendendole indipendenti da eventuali cambiamenti.</li> </ul>                                         |
| <p><b>Livello 4 Transport layer – Livello Trasporto</b></p> <p><b>Compito:</b> consegnare il messaggio da un nodo all'altro della rete, collegati da una rete WAN (<b>comunicazione end to end</b>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Garantisce che i dati (indicati come «segmenti») arrivino a destinazione nell'ordine corretto, senza errori, duplicazioni o perdite di dati e ritrasmettendoli in caso di errore.</li> <li>Concettualmente è simile al livello 2, ma mentre al livello 2 i nodi sono direttamente collegati, al livello 4 i nodi sono remoti e collegati da un percorso logico stabilito dai protocolli di livello 3.</li> </ul> | <p><b>Transport layer – Livello Trasporto</b><br/>Corrisponde al livello 4 del modello OSI.<br/>È realizzato tramite i <b>protocolli TCP (Transmission Control Protocol) e UDP (User Datagram Protocol)</b>.</p> <p><b>TCP:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>garantisce l'affidabilità della comunicazione;</li> <li>effettua il controllo del flusso;</li> <li>effettua il controllo della congestione.</li> </ul> <p><b>UDP:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>è un protocollo non affidabile;</li> <li>è utilizzato per le applicazioni in cui è necessario privilegiare la velocità rispetto all'affidabilità come, per esempio, lo streaming video.</li> </ul> |
| <p><b>Livello 5 Session layer – Livello Sessione</b></p> <p><b>Compito:</b> stabilire, mantenere e chiudere una sessione di comunicazione tra due host. Permette anche di riaprire una comunicazione a partire dal punto di interruzione nel caso di connessione temporaneamente persa.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p><b>Application layer – Livello di Applicazione</b><br/>Corrisponde ai livelli 5, 6, 7 del modello OSI.<br/>In particolare, specifica i protocolli e le interfacce utilizzati dalle applicazioni, presenti sui dispositivi finali, che generano i dati. I protocolli di livello applicazione in Internet si appoggiano ai protocolli del livello di trasporto (TCP o UDP).<br/>Esempi di protocolli di livello applicazione sono:</p>                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>Livello 6 Presentation layer – Livello Presentazione</b></p> <p><b>Compito:</b> stabilire la sintassi dei messaggi, cifrare i messaggi utilizzando dei codici, comprimere i messaggi per ridurre il numero di bit trasmessi.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>TLS (Transport Layer Security)</b>, che rientra nei protocolli di livello 6 ISO/OSI e offre servizi di autenticazione e cifratura;</li> <li><b>Telnet</b>, per l'utilizzo di un terminale remoto;</li> <li><b>FTP (File Transfer Protocol)</b> per l'invio e la ricezione di file;</li> <li><b>SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)</b> per la posta elettronica;</li> <li><b>HTTP (HyperText Transfer Protocol)</b>, utilizzato per effettuare la richiesta di una risorsa web a un server. Questo livello non definisce l'applicazione stessa, ma i servizi di cui le applicazioni hanno bisogno.</li> </ul>                                       |
| <p><b>Livello 7 Application layer – Livello Applicazione</b></p> <p><b>Compito:</b> fornire l'<b>interfaccia</b> delle applicazioni di rete all'utente. Il suo scopo è fare in modo che due applicazioni remote siano in grado di stabilire una comunicazione.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><b>notabene</b><br/>Un protocollo è “affidabile” quando il destinatario conferma la ricezione dei messaggi. In caso contrario il protocollo è “non affidabile”.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## 10 Funzionamento dell'architettura a livelli

### ■ Imbustamento e indirizzamento

Consideriamo la situazione in cui i protocolli, organizzati come è mostrato nella **Figura 8**, siano in esecuzione sui dispositivi del mittente e del destinatario del messaggio.

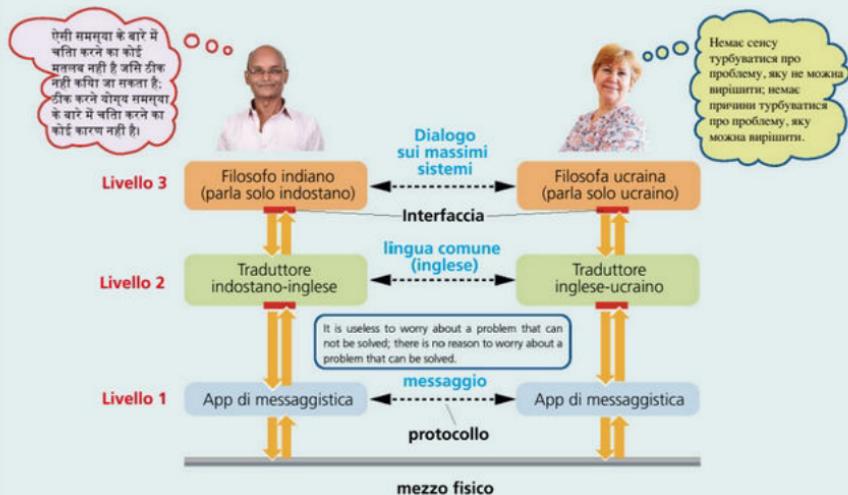
L'architettura a strati prevede che il passaggio dei dati avvenga partendo dal livello Applicazione del mittente verso il livello Fisico per la trasmissione sul canale. Il messaggio ricevuto risale gli strati del modello fino ad arrivare al livello applicazione del destinatario.

## Comprendi con l'analogia

Il passaggio dei dati dall'alto verso il basso avviene come la conversazione tra due filosofi che non parlano la stessa lingua

Il filosofo indiano Mohit e la filosofa ucraina Irina vogliono scambiarsi le loro riflessioni e nessuno conosce la lingua dell'altro. Per questo decidono di comunicare utilizzando una lingua comune, l'inglese; e un unico dizionario, quello che traduce la propria lingua madre in inglese.

- Mohit detta al traduttore il suo pensiero.
- Il traduttore lo traduce in lingua inglese e...
- passa il messaggio alla posta elettronica che associa ad esso una «busta» con l'indirizzo di Irina e lo invia al server di messaggistica istantanea.
- Irina legge il messaggio.
- Il traduttore legge il messaggio in inglese e lo riporta in un documento in lingua ucraina.
- Irina legge senza difficoltà il documento di Mohit e ne interpreta il significato.



Tra i due filosofi c'è uno scambio logico, «orizzontale» del messaggio (linee tratteggiate), così come accade anche tra i traduttori e le app di messaggistica.

In realtà il messaggio viene trasmesso scalando «verticalmente» la pila dei livelli. Ogni strato applica al messaggio la sua specifica funzione: parlare, tradurre, inviare-ricevere.

La trasmissione del messaggio richiede un processo di **imbustamento**, che consiste nell'aggiungere ai dati una «busta» (chiamata intestazione o header) con le informazioni di controllo (metainformazioni) per la spedizione ([Figura 9](#)).

### Pit Stop

- 19 Che cos'è l'imbustamento?
- 20 Che cos'è l'indirizzamento?

L'**indirizzamento** consiste nell'assegnare a ogni messaggio l'indirizzo del mittente e del destinatario:

- nell'header di livello 2 sono presenti gli **indirizzi fisici** (MAC) delle schede di rete;

- nell'header di livello 3 sono presenti gli **indirizzi logici** (indirizzi IP) dei dispositivi collegati alla rete;
- nell'header di livello 4 sono usati i **numeri di porta** che identificano le applicazioni.

|                                  |                                                                                            |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Indirizzo di destinazione</b> | Melacomp; via Manzoni, 14c 20121 Milano                                                    |
| <b>Indirizzo mittente</b>        | Anna Rossi; via del Monte, 12 21052 Busto A. (VA)                                          |
| <b>Apertura messaggio</b>        | Buongiorno                                                                                 |
| <b>All'attenzione di...</b>      | Marco Ribelli                                                                              |
| <b>Da:</b>                       | Anna Rossi                                                                                 |
| <b>Corpo del messaggio</b>       | Le scrivo per sottoporre la mia candidatura in relazione al vostro annuncio n. 9876 del... |
| <b>Chiusura messaggio</b>        | Distinti saluti                                                                            |

a.

↓Fig. 9a Intero messaggio che comprende intestazioni e dati. b Come nella posta ordinaria, il messaggio vero e proprio (dati) è inserito in una busta che contiene l'indirizzo del mittente e quello del destinatario.



b.

Le unità informative in generale sono chiamate **PDU (Packet Data Unit)**, ma hanno un nome diverso in ogni livello per indicare che la struttura dei dati è diversa. La **Tabella 8** mostra i PDU relativi ai diversi livelli.

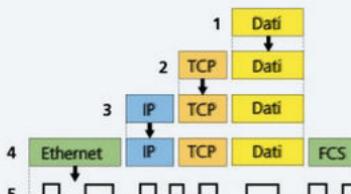
↓Tab. 8 A ogni livello corrisponde un PDU e un particolare indirizzamento.

| Indirizzamento | Livello           | PDU                |
|----------------|-------------------|--------------------|
|                | APPLICAZIONE      | Dati (payload)     |
| Porta          | TRASPORTO         | Segmento (segment) |
| Indirizzo IP   | RETE              | Pacchetto (packet) |
| Indirizzo MAC  | COLLEGAMENTO DATI | Trama (frame)      |
|                | FISICO            | bit                |

## Esempio 2

La **Figura 10** mostra l'imbustamento dei dati prodotti da una applicazione di Internet che utilizza TCP e Ethernet.

1. I **dati** prodotti dall'applicazione vengono passati dal protocollo http al livello Trasporto.
2. Il protocollo TCP riceve i dati, aggiunge l'header e genera un **segmento** che viene passato al livello di Rete.
3. Il protocollo IP riceve il segmento, aggiunge l'header e genera un **pacchetto** che viene passato al livello di Collegamento dati.
4. Il protocollo Ethernet riceve il pacchetto e aggiunge un header e una coda (FCS, Frame Check Sequence), per il controllo degli errori, e genera una **trama**.
5. I bit che costituiscono il frame sono codificati e inviati sul mezzo fisico di trasmissione.

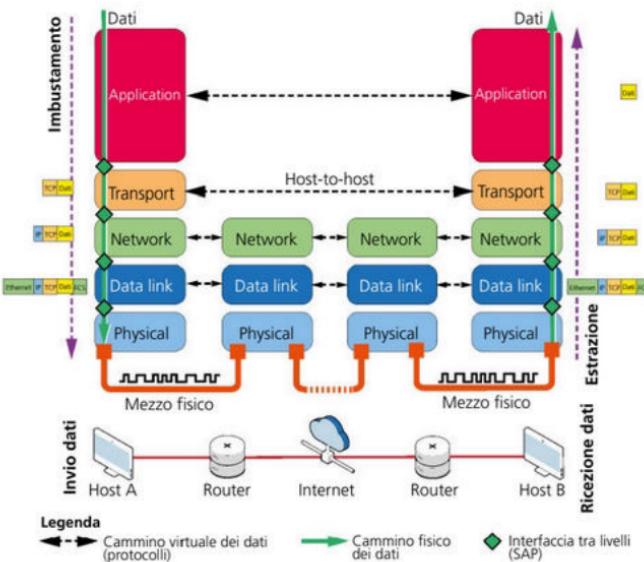


↑Fig. 10 Processo di imbustamento dall'alto verso il basso: ogni livello aggiunge un header.

### ■ Il flusso dei dati nell'architettura a livelli

In una architettura a livelli, come TCP/IP, il flusso dei dati segue lo schema concettuale mostrato nella **Figura 11**, dove è presentata una semplice topologia di rete con i due host collegati ai rispettivi router.

**Entità di pari livello comunicano tramite il medesimo protocollo, entità di livelli adiacenti comunicano tramite interfacce.**



Per semplicità si suppone che host A produce i dati e host B li riceve:

- dal livello Applicazione i dati sono comunicati al sottostante livello Trasporto che li imbusta, aggiungendo la sua intestazione, e li passa al livello Rete, che aggiunge la sua intestazione e li passa a sua volta al livello Data link, che aggiunge la sua intestazione e li passa al livello fisico, che li codifica e li trasmette in rete;
- all'altra estremità, il procedimento si svolge al contrario: il livello Data link toglie l'intestazione e passa il pacchetto al livello Rete, che toglie l'intestazione e passa il segmento al livello Trasporto, che toglie l'intestazione e passa i dati al livello Applicazione e, da qui, all'applicazione software presente sull'host.

#### Pit Stop

- 21 Descrivi il percorso di un flusso di dati che viene inviato da un host a un altro host.

I dati seguono un percorso verticale scendendo e salendo i diversi livelli che garantiscono dei punti di accesso che nel modello OSI sono chiamati SAP (Service Access Point). Il sistema è simile a quello di una torre medioevale dove ci sono delle botole che si aprono sul soffitto di ogni piano e servono come unico passaggio.

Ciascun livello non sa che cosa fanno i livelli adiacenti: si limita semplicemente a fare il proprio lavoro.

Mentre i dati transitano in verticale, ciascun livello comunica in orizzontale con il suo pari grado, servendosi dello stesso protocollo.

## 11 La rete Internet

La rete Internet è una rete di reti e collega l'intero pianeta.

Genericamente internet significa «interconnessione tra reti» (*internetworking*).

Quando parliamo di rete Internet, intendiamo la rete descritta dal modello TCP/IP, nata nel periodo della guerra fredda negli anni Sessanta del secolo scorso e che ha avuto una evoluzione fino ad arrivare all'Internet delle cose (IoT).

La struttura principale comprende diverse reti a banda larga (*backbone*) che costituiscono la spina dorsale della rete (Figura 12). La topologia a maglia rende la rete affidabile, perché permette ai dati di raggiungere i dispositivi tramite percorsi alternativi, anche in caso di guasti. Il traffico in rete passa dai nodi, i router, che smistano i pacchetti instradandoli sul percorso migliore.



### Approfondimento

- I principali servizi di Internet
- La storia di Internet
- Internet secondo Internet Society



◀ Fig. 12 Rappresentazione schematica delle principali dorsali di Internet.

Nel 1990 Tim Berners-Lee, ricercatore presso il CERN di Ginevra, progettò il **WWW (World Wide Web)** che ha reso l'utilizzo della rete Internet semplice e accessibile a tutti.

Internet ha permesso di far convergere in un'unica rete servizi (come le trasmissioni di dati di tipo diverso – caratteri scritti, suoni e video) che un tempo erano separati. Ciò ha avuto un impatto notevole sulla nostra vita e sull'ambiente, offrendo grandi vantaggi ma anche ponendo delle criticità.

Ad esempio, scaricare video dalla rete provoca un enorme dispendio energetico e una notevole occupazione di spazio nei data center: secondo una ricerca pubblicata dal Digital Transformation Institute, un'ora di streaming a settimana per un anno consuma energia circa come due frigoriferi nello stesso arco di tempo.

### Pit Stop

- 22 La rete Internet quale topologia adotta?

La **Tabella 9** mostra alcuni aspetti del rapporto fra Internet e gli esseri umani.

| Internet e gli esseri umani                                                        |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Utenti Internet                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |
|   |  |  |  |
| popolazione<br><b>8 miliardi</b>                                                   | utenti Internet<br><b>5 miliardi</b>                                              | utenti attivi sui social media<br><b>5 miliardi</b>                               | utenti mobile<br><b>7 miliardi</b>                                                |
| Memoria globale                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |
|   |                                                                                   |  |                                                                                   |
| memoria globale in Internet<br><b>175 zettabyte (175 miliardi di terabyte)</b>     |                                                                                   | memoria del cervello umano<br><b>100 milioni di megabyte</b>                      |                                                                                   |
| Energia consumata                                                                  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |
|   |                                                                                   |  |                                                                                   |
| energia per Internet<br><b>800 miliardi di kWh/anno</b>                            |                                                                                   | consumo di energia del cervello umano<br><b>20 W</b>                              |                                                                                   |
| Numero di connessioni                                                              |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |
|  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |
| connessioni machine-to-machine (M2M)<br><b>14,7 miliardi</b>                       |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |

↑ **Tab. 9** Alcune informazioni relative al rapporto fra Internet e gli esseri umani (i dati sono riferiti al 2023).



### RETI

La rete è un insieme di nodi collegati tra loro che permette a cose e persone di comunicare. Una rete informatica è costituita da:

- mezzi di trasmissione (rame, fibra ottica, onde radio);
- dispositivi intermedi (switch, router);
- dispositivi finali (computer, telefoni, oggetti, ...).

#### CLASSIFICAZIONE

- Estensione (PAN, LAN, MAN, WAN).
- Topologia (star/tree, ring, bus, mesh).
- Architettura (client-server, peer to peer, master-slave).

#### ARCHITETTURA A LIVELLI

- Entità di pari livello comunicano tramite il medesimo protocollo.
- Entità adiacenti comunicano tramite interfacce.
- Lato mittente: ogni livello riceve i dati dal livello superiore, aggiunge un'intestazione e passa i dati al livello sottostante.
- Lato destinatario: ogni livello riceve i dati dal livello sottostante, legge e toglie l'intestazione, passa i dati al livello superiore.
- Il messaggio ha nomi diversi a seconda del livello: bit, frame, packet, segment, data (payload).

#### STANDARD

- Favoriscono la interoperabilità.

#### PROTOCOLLO

Insieme di regole, note a due interlocutori, istituite affinché la comunicazione avvenga in modo corretto.

#### MODELLO ISO/OSI – TCP/IP

- Modello ISO/OSI: riferimento per architettura di rete. Prevede 7 livelli: Fisico, Collegamento dati, Rete, Trasporto, Sessione, Presentazione, Applicazione. Ogni livello ha dei compiti precisi.
- Architettura TCP/IP: è l'architettura di Internet. Prevede Livello Fisico e di Collegamento dati per accesso alla rete; Livello Rete (IP), Livello Trasporto (TCP-UDP), Livello Applicazione (HTTP, SMTP, FTP, ...).

#### INTERNET

- È una rete di reti estesa a livello planetario.
- Topologia a maglia: per collegare due nodi possono esserci percorsi alternativi.
- Protocolli di riferimento: TCP/IP.

# Verifica delle CONOSCENZE

Unità 10



## Vero o Falso?

- 1 Nel modello ISO/OSI, entità di pari livello comunicano tramite le interfacce.
- 2 Una LAN copre un suolo privato.
- 3 Internet è una rete di reti.
- 4 Una LAN è una rete esclusivamente aziendale.
- 5 Una rete aziendale è una LAN.
- 6 Internet è una WAN.
- 7 In una rete a stella i nodi sono connessi tra loro in modalità punto-punto.
- 8 Nell'architettura client/server il client fornisce servizi.
- 9 La topologia a stella è quella attualmente più utilizzata per le LAN.
- 10 L'hardware di rete è organizzato in livelli.
- 11 Un livello fornisce protocolli al livello superiore.
- 12 Entità di pari livello concordano un protocollo di comunicazione.
- 13 Un servizio non specifica i dettagli dell'implementazione.
- 14 Un protocollo è una componente hardware delle reti.
- 15 La topologia a maglia è tipica delle WAN.
- 16 Internet è una LAN.
- 17 La topologia a stella è tipica delle WAN.
- 18 L'architettura client/server è quella tipica di Internet.
- 19 Il PDU di livello 4 si chiama pacchetto.
- 20 Il livello fisico è quello più vicino all'utente.
- 21 L'imbustamento è un apparato di rete.
- 22 In una rete a stella tutti i nodi sono collegati a un nodo centrale.



## Rispondi ai seguenti quesiti indicando l'unica risposta esatta.

- 23 Considera l'architettura Internet.
  - a) IPv4 è un'interfaccia tra due livelli
  - b) SMTP è una WAN
  - c) TCP è un protocollo
  - d) Internet è una LAN
- 24 La topologia a stella:
  - a) prevede sempre un centro stella in fibra ottica
  - b) prevede un collegamento punto-punto tra una stazione e l'altra
  - c) prevede un centro stella che è sempre un router
  - d) è semplice da ampliare
- 25 L'interfaccia:
  - a) è un servizio
  - b) è fornita dal livello basso al livello alto
  - c) consente a due livelli adiacenti di comunicare
  - d) è un protocollo di comunicazione
- 26 Compito del livello rete è:
  - a) il controllo degli errori
  - b) la commutazione
  - c) collegare i nodi punto-punto
  - d) comunicare con l'utente
- 27 Il PDU di livello 2 si chiama:
  - a) pacchetto (packet)
  - b) segmento (segment)
  - c) trama (frame)
  - d) intestazione (header)
- 28 Il centro stella di una LAN è tipicamente:
  - a) un router
  - b) un telefono
  - c) un oggetto intelligente
  - d) uno switch
- 29 Come si può definire una rete?
- 30 Che cos'è il modello ISO/OSI e perché lo si utilizza?
- 31 Qual è lo scopo degli standard internazionali e quali sono le principali organizzazioni che se ne occupano?
- 32 Come si classifica una rete per topologia?
- 33 Come possono essere classificate le reti in base all'estensione?
- 34 Quali sono le principali caratteristiche di una LAN?
- 35 Quali sono i vantaggi e gli svantaggi di una rete a stella?
- 36 Quali sono i mezzi trasmissivi più usati per interconnettere i nodi di una rete?
- 37 Nell'ambito del software di rete, esponi la differenza tra *modello di riferimento* e *architettura di rete*.

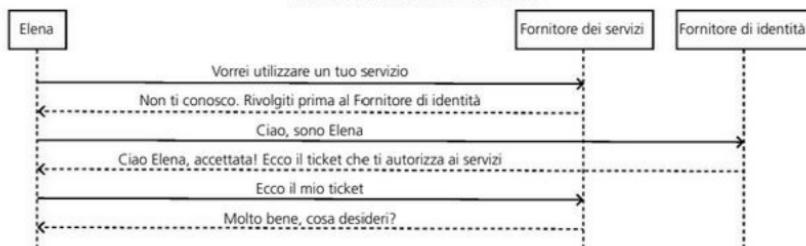
- 38** Com'è fatto il modello TCP/IP?
- 39** Quali sono i compiti del livello 3 dell'architettura Internet?
- 40** «Il riduzionismo» afferma Barabási «è la forza che ha guidato gran parte della ricerca scientifica del XX secolo. Per comprendere la natura, affermano i suoi sostenitori, occorre innanzitutto decifrarne le componenti». Qual è la critica di Barabási al modo di pensare del riduzionismo e, in estrema sintesi, che cosa sostiene?
- 41** Che cosa si intende per *piccoli mondi* quando
- 42** Quali sono i principali vantaggi dell'uso di una rete?
- 43** Qual è stato il motivo principale per cui è nata Internet?
- 44** Elenca vantaggi e svantaggi delle topologie di rete bus, ad anello e a stella.
- 45** Quando in genere è usata la topologia di rete a maglia?
- 46** Qual è la topologia di LAN oggi più diffusa?
- 47** Quali sono i motivi del successo del WWW?

## Verifica delle ABILITÀ

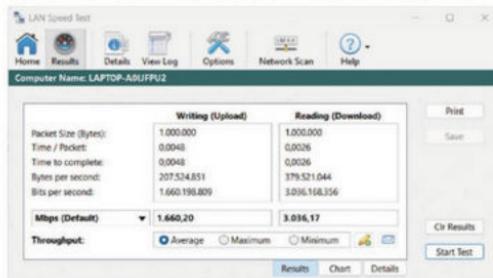
**Unità 10**

- 48** Dai la definizione di *protocollo* e definisci il protocollo che interviene tra il cliente e la cassiera di un supermercato, quando il cliente si reca alla cassa per pagare un casco di banane. Metti in luce, tramite un diagramma temporale, le fasi che si susseguono dall'arrivo del cliente alla sua uscita dal supermercato, tenendo conto di eventuali anomalie o errori che possono intervenire.
- 49** Considera il seguente diagramma di sequenza e spiega il significato delle linee verticali, di quelle orizzontali e delle frecce.

Fornitori di identità e di servizi



- 50** L'immagine mostra i dati relativi alla velocità di una rete domestica. Controlla e verifica la velocità della tua rete domestica in upload e download, usando gli strumenti che ritieni più idonei.



Esercizi in più

## The computer network

### Abstract

A computer network is a system of interconnected computers and network devices (routers, switches, ...). The connection is implemented by communication channels able to propagate the physical signal used to transport the data. The main goal of a network is to communicate and share the available resources both in a company or domestic domain. A network protocol is the rules set that the transmitter and the receiver must know and respect in order to properly communicate. According to their geographical extension, the networks are classified in LAN (Local Area Network) and WAN

(Wide Area Network). A second classification is based on the network topology, the layout of the interconnected nodes: bus, ring, star (LAN typical topology), mesh (WAN typical topology). A wireless network is a technology where the connection is implemented without wiring. The network software is based on the ISO/OSI model, organized in 7 levels: physical, data link, network, transport, session, presentation, application. Entities at the same level communicate through protocols; each level provides service to the next upper level through interfaces.



### Questions

#### Answer all questions

- 1 What's a computer network?
- 2 Classify the networks according to their geographical extension.
- 3 Classify the networks according to their topology.
- 4 List the ISO/OSI layers and describe their tasks.

#### Choose the correct answer



- 5 According to the ISO/OSI:
  - a peer entities communicate by mean of interfaces
  - b peer entities interact by mean of protocols
  - c adjacent levels interact by mean of protocols
  - d a level serves the level below it

### Crosswords

#### Across

- 1 The most common topology for LAN networks
- 4 A network level PDU
- 6 It is added to data at each level
- 7 A reliable protocol for the transport level
- 8 An organisation that manages international standards
- 10 A network that covers the extension of a building

#### Down

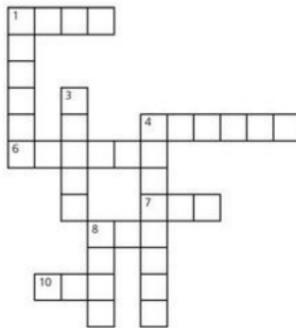
- 1 Star topology center of a LAN
- 3 Level 2 PDU
- 4 An established set of rules that regulates communication in a network
- 8 Coordinates IP addressing

#### 6 A LAN:

- a covers a worldwide area
- b covers an area corresponding to a nation
- c covers a city area
- d covers a building area

#### 7 Data packaging:

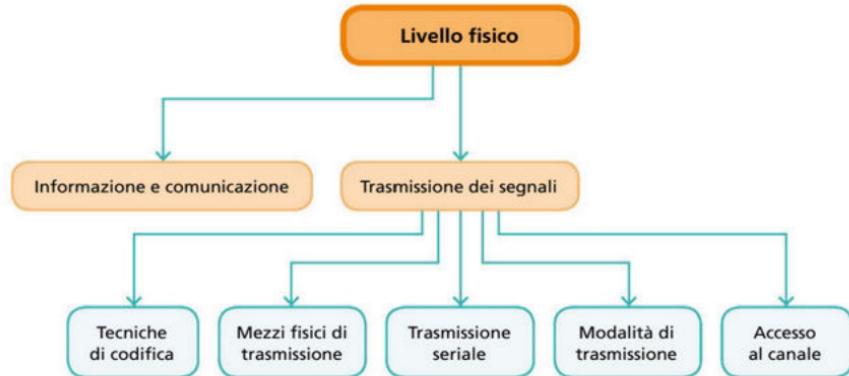
- a is implemented by mean of protocols
- b is typically used in connection oriented networking protocols
- c is typically used in unreliable services
- d is exclusively implemented for LANs





# Unità 11

## Il Livello Fisico



### Visione d'insieme

- Elementi base della trasmissione dell'informazione.
- Il Livello Fisico delle reti.
- La trasmissione dei segnali e i mezzi fisici di trasmissione.



**Fig. 1** Il Physical Layer del modello TCP/IP permette l'interfacciamento al mezzo trasmissivo fisico (fibra ottica, rame o etere), ma non va confuso con esso. Corrisponde al Livello Fisico (livello 1) del modello ISO/OSI.

## 1 Introduzione

Le nostre giornate sono fatte di **informazioni** che si intrecciano come fili di una trama che contribuisce a formare il tessuto della nostra vita.

L'informazione può essere misurata ma, per essere trasportata su un mezzo fisico, deve potere essere convertita in qualche forma di energia.

Il **Livello Fisico (Physical layer)** costituisce lo strato più basso del modello TCP/IP, l'unico capace di tradurre l'**informazione** in segnali, inviarli su un canale fisico e permettere la **comunicazione** tra i componenti di una rete (Figura 1).

### La parola a... John Archibald Wheeler

Il grande fisico teorico John Archibald Wheeler, conosciuto soprattutto per aver coniato e reso popolare il termine «buchi neri», arricchì la teoria dell'informazione con un concetto che chiamò «It from Bit», che così spiega in un suo articolo scientifico del 1989.

««It from Bit» simboleggia l'idea che ogni elemento del mondo fisico abbia alla base una sorgente e una spiegazione immateriale; vale a dire che ciò che noi chiamiamo realtà sorge in ultima analisi dai porsi domande del tipo sì/no e registrare le risposte evocate; in breve, che tutte le cose fisiche nascano in origine dall'informazione e che il nostro sia un universo partecipativo.»

Giuseppe Longo, «La teoria dell'informazione»,  
RCS Media Group, 2021

Negli anni '70 del secolo scorso, il premio Nobel Karl von Frisch studiò il modo con cui le api esploratrici, attraverso una sorta di danza a forma di otto con il sole come riferimento, comunicano alle loro simili le coordinate del luogo dove si trova il polline da raccogliere.

La lezione che ci danno le api è che l'informazione contenuta nella danza è importante, ma diventa essenziale quando viene trasferita alle compagne che ne possono beneficiare. In altre parole, l'**informazione è utile solo nel momento in cui può essere comunicata** e utilizzata da chi la riceve per aumentare le sue conoscenze.

Informazione e comunicazione sono due cose diverse.

- L'**informazione** è qualcosa che aumenta il patrimonio conoscitivo. Per esempio, le indicazioni stradali aumentano la nostra conoscenza delle vie che ci circondano. Può essere trasmessa da un mittente a un destinatario con un messaggio opportunamente codificato. Il messaggio è trasferito sotto forma di segnale, che può essere di varia natura. Affinché l'informazione arrivi correttamente dal mittente al destinatario, è necessario che i due siano in possesso dello stesso codice.
- La **comunicazione** è la **trasmissione dell'informazione** da un mittente a un destinatario. La trasmissione dell'informazione modifica la situazione di chi la riceve, perché gli consente di relazionarsi al mondo in un modo diverso.

## 2 Schema della comunicazione di Shannon

Nel 1948 Claude Shannon pubblica *A Mathematical Theory of Communication*, la pietra angolare su cui poggia la teoria dell'informazione.

Shannon propone uno schema (Figura 2 a pagina seguente) diventato famoso.



La tabella evidenzia gli elementi fondamentali dello schema della comunicazione di Shannon.

| Elemento                            | Descrizione                                                                                          | Osservazioni                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Messaggio</b>                    | È l'oggetto della comunicazione.                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Sorgente</b>                     | È la fonte del messaggio, l'elemento che produce un messaggio.                                       |                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Destinatario</b>                 | È l'elemento a cui è inviato il messaggio.                                                           |                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Trasmettitore (codificatore)</b> | Codifica il messaggio e lo propaga sul canale sotto forma di segnale.                                | Codificatore e decodificatore devono utilizzare lo <b>stesso codice</b> : il codificatore codifica il messaggio ricevuto dalla sorgente e lo trasmette, il decodificatore riceve il messaggio e lo decodifica.                                |
| <b>Ricevitore (decodificatore)</b>  | Riceve il messaggio e lo decodifica.                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Segnale</b>                      | È la variazione di una grandezza fisica (per esempio elettrica) e deve essere associata a un codice. |                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Canale</b>                       | È il mezzo fisico su cui transita il segnale.                                                        | Per rilevare ed eventualmente correggere gli errori causati dal rumore si utilizzano dei <b>codici di rilevazione e correzione degli errori</b> : si aggiungono al messaggio dei bit (bit di ridondanza) usati dal ricevitore come controllo. |
| <b>Rumore</b>                       | È un segnale di disturbo che può alterare il segnale durante la trasmissione, falsando il messaggio. |                                                                                                                                                                                                                                               |

↑ Fig. 2 La comunicazione di Shannon. Lo schema a blocchi descrive l'atto di comunicazione come l'invio di un messaggio inviato da un produttore a un destinatario.

### notabene

#### Simmetria e Ridondanza

Tutte le strutture simmetriche sono ridondanti: infatti è sufficiente la metà di una forma per ricostruire l'altra. Per esempio, basta la metà di un vaso per ricostruirne l'intero. La ridondanza non solo è capace di proteggere l'informazione, ma è capace anche di ricostruirla.

### Pit Stop

3 Che cos'è il rumore?

4 A che cosa servono i bit di ridondanza?

### notabene

Il significato da attribuire al messaggio è determinato dalla conoscenza del contesto, la quale è comune a sorgente e destinatario.

## 3 Definizione e significato di informazione

Il significato di informazione è legato all'acquisizione di conoscenza. Si ha più o meno informazione in base alla quantità di nuova conoscenza acquisita. Ad esempio, la frase «ogni sera il sole tramonta» non porta alcuna informazione, data la regolarità dell'evento. Al contrario, «domani il sole tramonta alle 19.47» fornisce una quantità di informazione significativa.

La misura dell'informazione è legata all'incertezza su quale sia il contenuto del messaggio: maggiore è l'incertezza, tanto più alta sarà l'informazione acquisita dopo avere ricevuto il messaggio.

L'originalità della teoria di Shannon consiste nell'aver reso l'informazione una **quantità misurabile** utilizzando una **misura logaritmica**: se una sorgente è in grado di emettere  $n$  simboli equiprobabili ( $p = 1/n$ ) l'informazione da essa fornita è data dalla formula:

$$I = \log_2 n = \log_2 \frac{1}{p} = -\log_2 p \quad [\text{misurata in bit}]$$

### notabene

Nella formula a fianco è stata usata la seguente proprietà dei logaritmi:

$$\log x^y = y \log x$$

L'unità di misura dell'informazione è il bit (binary digit). Un bit è la quantità di informazione che toglie l'incertezza tra due possibili stati (ON-OFF).

Questa misura indica il contributo informativo, cioè la quantità di informazione che è stata ricevuta. Per esempio:

- se una sorgente emette sei simboli  $\{n_0, n_1, \dots, n_5\}$  che hanno la stessa probabilità di comparire, la quantità d'informazione associata al singolo evento (paragonabile a quella del lancio di un dado «onesto») è:  
 $I = \log_2 6 = 2,585 \text{ [bit]}$
- se una sorgente emette solo due simboli  $\{n_0, n_1\}$ , statisticamente indipendenti ed equiprobabili, il contenuto informativo è di un bit:  
 $I = \log_2 2 = 1 \text{ [bit]}$
- se una sorgente può emettere solo un simbolo, l'informazione è nulla: la probabilità che venga emesso quel simbolo è 1, che corrisponde alla certezza.

Nel caso in cui i simboli non siano equiprobabili bisogna ricorrere alla **formula dell'entropia** ( $H$ ), una sommatoria di tutte le informazioni che compongono il messaggio, pesate in base alla loro probabilità di essere emesse:

$$H = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i \quad [\text{bit}]$$

Per esempio, il contenuto informativo di una moneta truccata con probabilità  $\frac{1}{4}$  che esca una faccia e  $\frac{3}{4}$  che ne esca un'altra è:

$$H = \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{3}{4} \log_2 \frac{4}{3} = 0,811$$

< 1, perché, in parte, già conosciamo il risultato più probabile.

### Comprendi con l'analogia

L'unità di informazione è come il dischetto numerato estratto nel gioco della tombola

Nel gioco della tombola il giocatore con il ruolo di *croupier* estrae i pezzi in modo casuale e annuncia il numero. Il dischetto estratto porta con sé l'informazione che i giocatori attendono per aumentare la loro conoscenza e completare la cartella. Se tutti i dischetti recassero il numero 1, nessuno provrebbe alcuna sorpresa nel constatare che il numero estratto è l'1, perché è quello che tutti si aspetterebbero; non sarebbe stata trasmessa alcuna informazione.



## Protagonisti: Claude Elwood Shannon

Claude E. Shannon è considerato il padre delle comunicazioni elettroniche. Mentre lavorava ai Bell Laboratories formulò la «teoria matematica della comunicazione». L'articolo scientifico, pubblicato nel 1948, fu il culmine dei suoi studi matematici e ingegneristici. I concetti di contenuto informativo ed entropia sono due aspetti rilevanti della sua teoria.

Racconta Shannon: «La mia più grande preoccupazione era come chiamarla. Pensavo di chiamarla *informazione*, ma la parola era fin troppo usata, così decisi di chiamarla *incertezza*. Quando discorsi della cosa con John von Neumann, lui ebbe un'idea migliore. Mi disse che avrei dovuto chiamarla *entropia* per due motivi: innanzitutto, la mia funzione d'incertezza era già nota nella meccanica statistica con quel nome; in secondo luogo, e più significativamente, nessuno sapeva che cosa fosse con certezza l'entropia, così in una discussione sarei stato sempre in vantaggio».

## 4 Il Livello Fisico e i suoi compiti

### Il Livello Fisico si occupa dell'invio e della ricezione dei dati sul canale fisico (Figura 3).

Lato mittente riceve la trama («frame») dal livello Data Link, codifica i dati e li trasmette sul mezzo fisico come un flusso di bit.

Lato ricevente riceve un flusso di bit, lo decodifica e lo passa al livello Data Link. Il tipo di segnale trasmesso dipende dal mezzo fisico di trasmissione utilizzato: i cavi di rame trasportano segnali elettrici, la fibra ottica trasporta segnali luminosi, le onde radio si propagano nel vuoto.

Dati in arrivo dal livello 2 (collegamento)

Dati inviati al livello 2

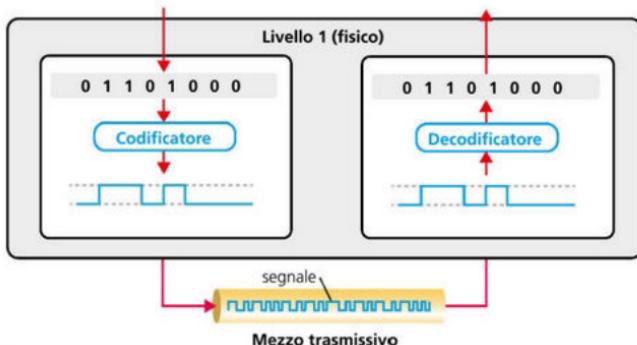


Fig. 3 Lo scopo del Livello Fisico è generare i segnali che rappresentano i bit della trama (frame) che il livello superiore (Collegamento/Data link) ha fatto arrivare a esso.

Fanno parte del Livello Fisico:

- gli **elementi fisici**: cavi di collegamento, connettori, antenne, schede di rete (NIC), ricetrasmittitori, amplificatori, ripetitori, modem;
- le **caratteristiche meccaniche e funzionali**: per esempio, la forma e tipo di connettore, il numero di pin, il significato dei pin del connettore (quali sono i pin per trasmettere, ricevere, controllare e sincronizzare il flusso dei dati);

### notabene

- Un **dato** è una rappresentazione oggettiva e non ha un significato. L'elaborazione dei dati fornisce loro un significato. I dati analogici assumono valori continui nel tempo; i dati digitali hanno valori discreti.
- Un **segnale** è la codifica elettrica o elettromagnetica di dati.
- La **trasmissione** è la propagazione ed elaborazione dei segnali. Il termine «trasmissione» è utilizzato anche per descrivere il processo di invio di informazioni.

**Pit Stop**

- 5** Quali sono i compiti del livello fisico lato mittente? E lato ricevitore?
- 6** Quali sono i tre componenti del livello fisico?

- la **codifica del segnale digitale**, la durata dei bit trasmessi, la direzione e il modo di trasmissione.

Esempi di standard del Livello Fisico sono:

- **RS232 e USB**: standard per la comunicazione seriale;
- **Bluetooth**: standard per la trasmissione dei dati a breve distanza;
- **IEEE 802.3**: gruppo di standard che comprende anche il livello fisico di **Ethernet** per la trasmissione dei dati in rete locale;
- **IEEE 802.15.4**: standard per la trasmissione all'interno delle reti WPAN;
- **LoRa (Long Range)**: è una tecnologia wireless, tipica di IoT, che offre la capacità di comunicazione a lungo raggio.

## 5 La trasmissione del segnale

I dati elaborati all'interno di un computer sono digitali e trasmessi sul bus in parallelo. Nelle reti, sulle medie o lunghe distanze, la trasmissione sul mezzo fisico (rame, fibra ottica, etere) è seriale.

Nella **trasmissione digitale** ogni bit è associato a uno stato fisico del segnale: per esempio, due livelli distinti di tensione, oppure due frequenze elettromagnetiche diverse, o due impulsi luminosi emessi da un laser.

### Comprendi con l'analogia

Il passaggio dei bit dal computer al mezzo trasmissivo è come un'iniezione di biglie di due colori



Per motivi di economicità, l'invio dei bit su un canale avviene in modo seriale. Il livello fisico può essere immaginato come una siringa che, al suo interno, contiene biglie di colore rosso (0) e blu (1).

Spingendo sullo stantuffo le biglie escono dall'ago, ordinatamente, uno dopo l'altra, formando una sequenza che contiene l'informazione sotto forma di flusso binario.

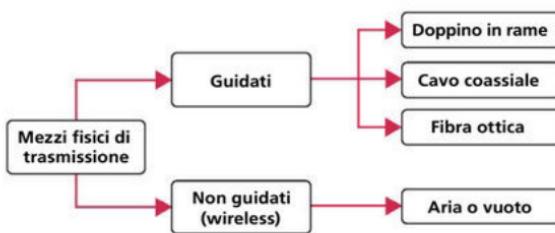
**notabene****L'etere**

Fino al XX secolo sembrava impossibile che le onde radio potessero propagarsi nel vuoto e venne ipotizzata l'esistenza dell'**etere cosmico**, una sostanza invisibile ed elastica che permea lo spazio. Le scoperte sulla natura elettromagnetica delle onde radio da parte di Maxwell e, in seguito, di altri scienziati dimostrarono invece che l'**etere non esiste** e che le onde elettromagnetiche si propagano senza bisogno di alcun mezzo.

## 6 I mezzi trasmissivi

Il mezzo trasmissivo permette al segnale di propagarsi, trasportare energia e collegare i dispositivi della rete.

I mezzi fisici trasmissivi possono essere **guidati** (tramite cavi, fili) o **non guidati**, come mostra lo schema seguente.



Tra i mezzi **guidati** troviamo (**Figura 4**):

- **cavi in rame**, che trasportano un **segnale elettrico**. Sono conduttori metallici al cui interno scorre la corrente elettrica. Esempio di cavi in rame sono il doppino per la telefonia e per le reti dati Ethernet, i cavi coassiali (ormai poco usati) come quelli delle antenne televisive;
- **cavi in fibra ottica** che trasportano un **segnale luminoso**. Sono realizzati in fibra di vetro, oppure con particolari polimeri, per permettere il passaggio della luce. Sono usati, per esempio, nelle LAN e nelle WAN per la trasmissione dei dati.

↓ Fig. 4 Esempi di mezzi fisici di trasmissione.

Cavi in rame: doppino telefonico



Cavi coassiali in rame



Fibre ottiche



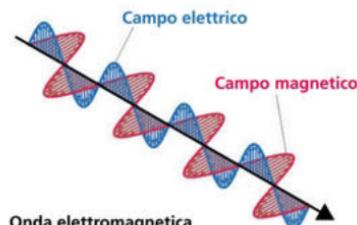
Cavi per LAN (UTP e STP)



I mezzi **non guidati** sono privi di cavo (**wireless**). Il segnale viene trasmesso sotto forma di **onde radio**, come per i sistemi RFID o Wi-Fi.

I campi elettrici e magnetici si propagano nello spazio in forma di **onde, cioè di oscillazioni del campo elettromagnetico** (**Figura 5**). Le equazioni di Maxwell condensano la teoria del campo elettromagnetico, descrivendo le sue proprietà e le interazioni con la materia.

Anche la luce è un'onda elettromagnetica, dotata di frequenza e lunghezza d'onda. L'insieme di tutte le frequenze che un'onda elettromagnetica può assumere è lo **spettro elettromagnetico** (**Figura 6** a pagina seguente).



← Fig. 5 Nelle onde elettromagnetiche le oscillazioni del campo elettrico e del campo magnetico sono perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda.

### Pit Stop

- 7 Fai alcuni esempi di mezzi trasmisivi guidati e mezzi trasmisivi non guidati.
- 8 Che cos'è lo spettro elettromagnetico?



**Approfondimento**  
Onde elettromagnetiche



Fig. 6 Lo spettro elettromagnetico.

### La parola a... Marshall McLuhan

Marshall McLuhan studiò gli effetti prodotti dalla comunicazione sulla società. Nel 1964, nel saggio *Understanding Media* (pubblicato in Italia con il titolo «Gli strumenti del comunicare»), scrive: «Il contenuto di un medium è sempre un altro medium: il contenuto della scrittura è il discorso, così come la parola scritta è il contenuto della stampa e la stampa del telegrafo: il "messaggio" di un medium o di una tecnologia è nel mutamento di proporzioni, di ritmo e di schemi che introduce nei rapporti umani. Un altro esempio è la ferrovia, che non ha introdotto nella società né il movimento, né il trasporto, né la ruota, né la strada, ma ha accelerato e allargato le proporzioni di funzioni umane già esistenti creando città nuove e nuove forme di lavoro e di svago».

(Marshall McLuhan, «Gli strumenti del comunicare», Il Saggiatore, 2023)



Fig. 7 Cavo UTP e Cavo STP.

### Il cavo in rame

Il cavo di rame, più comunemente utilizzato nelle reti LAN Ethernet, è costituito da otto **fili di rame intrecciati a coppie**, a loro volta intrecciate con le altre coppie. Ciò è utile per proteggere la trasmissione dei dati da disturbi e interferenze elettromagnetiche, a causa della conformazione che il campo magnetico assume in cavi costruiti in questo modo. Può essere di due tipi (Figura 7):

- UTP – *Unshielded Twisted Pair* («doppino intrecciato non schermato»);
- STP – *Shielded Twisted Pair* («doppino intrecciato schermato»). Per una maggiore protezione i cavi possono essere schermati con un foglio di materiale conduttivo che li riveste.

### La fibra ottica

I cavi in fibra ottica sono composti da un fascio di sottilissimi **filamenti in fibra di vetro** (o materiali plasticci), che permettono il passaggio della luce (Figura 8).

Hanno il vantaggio di essere immuni ai disturbi elettromagnetici e permettono ai segnali luminosi di trasportare i dati a velocità che normalmente sono di 1-10 Gbps (miliardi di bit in un secondo), ma con la possibilità di raggiungere i Tbps (mille miliardi di bit al secondo).

Ogni singolo filamento ha le dimensioni di un capello (un centinaio di micrometri) ed è composto da due sezioni concentriche: il **core** (o nucleo), che è la sezione centrale, e il **cladding** (o mantello), che racchiude il core (Figura 9a a pagina seguente).

Entrambe le sezioni sono in vetro, ma hanno un indice di rifrazione differente. Ciò permette al cladding di riflettere la luce e confinare il raggio luminoso all'interno del core. Di solito si utilizzano frequenze vicine all'infrarosso.



Fig. 8 Un cavo di fibra ottica, costituito da più fibre, ciascuna nella propria guaina protettiva, e da un conduttore metallico interno che ha lo scopo di irrigidirlo.

I cavi in fibra ottica si dividono in:

- **multimodale** (*Multi-mode*) (**Figura 9b**): uno o più raggi di luce avanzano rimbalzando sul bordo del nucleo; ciò causa problemi di attenuazione e rumore. È utilizzata per distanze limitate (arriva a 2 km al massimo), ad esempio all'interno di un edificio. È economica;
- **monomodale** (*Single-mode*) (**Figura 9c**): un solo fascio di luce monocromatica (una sola lunghezza d'onda) passa nel centro del nucleo, senza rimbalzare sulle pareti. Riduce l'attenuazione del segnale, ha una larghezza di banda elevata e può essere utilizzata su collegamenti che coprono distanze elevate (fino a 80 km), come le linee di telecomunicazioni e la TV via cavo.



Fig. 9a La struttura della fibra ottica.

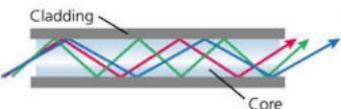


Fig. 9b Riflessione del raggio luminoso dentro la fibra ottica (multimodale).

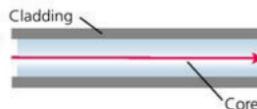


Fig. 9c Fibra monomodale.

Per la trasmissione in fibra su rete geografica il mercato offre varie alternative (**Tavella 1**), tra cui quelle che vanno sotto il nome di **FTTx** (**Fiber to the x**), dove con x si intende il tipo di collegamento.

- **ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)** Connessione tradizionale con tecnologia basata solo su cavi di rame. Sfrutta il doppino telefonico, già presente nelle case dei clienti, per portare i dati.
- **FTTC (Fiber To The Cabinet)**, in cui la fibra arriva fino all'armadio di strada, di solito a poche centinaia di metri dall'abitazione, dal quale partono i collegamenti in rame.
- **FTTB (Fiber To The Building)**, in cui la fibra raggiunge l'esterno o la cantina dell'edificio e viene portata negli appartamenti tramite un cavo di rame. Ha prestazioni superiori a FTTC.
- **FTTH (Fiber To The Home)**, in cui la fibra viene portata direttamente dentro casa. Fornisce le massime prestazioni ottenibili nelle abitazioni, negli uffici, ecc.
- **FTTT (Fiber To The Tower)** È una modalità ibrida: la fibra ottica arriva dalla centrale alla stazione base (BTS) che irradia, su frequenze radio dedicate, il segnale al modem dell'utente. È chiamata anche **FWA (Fixed Wireless Access)**.

Tab. 1 Tecnologie per le reti fisse domestiche.

## Comprendi con l'analogia

Gli elettroni nel cavo di rame e i fotoni nella fibra ottica sono come i veicoli motorizzati e le bici nel traffico nell'ora di punta

Gli elettroni che passano nel doppino di rame posso essere paragonati a veicoli motorizzati nell'orario di punta; i fotoni invece sfrecciano nella fibra ottica come biciclette sulle piste ciclabili.

Pensa al traffico in città nell'ora di punta. I mezzi partono, avanzano di pochi metri, si bloccano e poi ripartono, percorrendo pochi chilometri in un'ora.

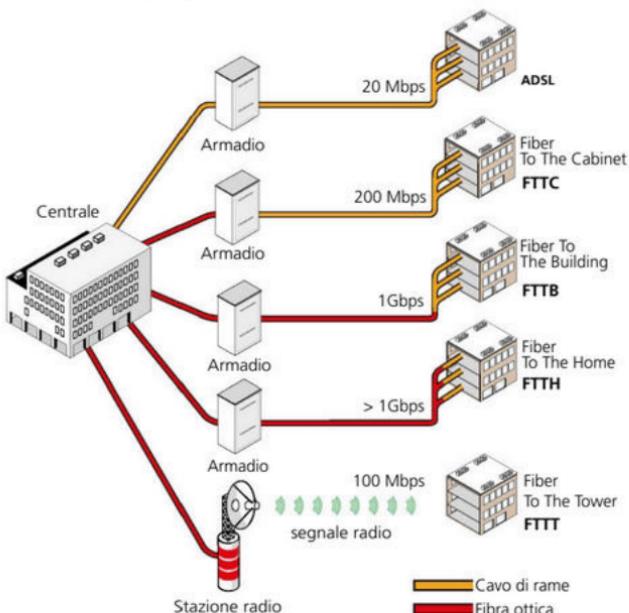
Gli elettroni che passano nel doppino di rame sono paragonabili ai mezzi in città, grossi e pesanti; inoltre si muovono in maniera piuttosto caotica (moto browniano), urtandosi a vicenda e, talvolta, finendo fuori strada. I fotoni, che sono molto più «leggieri» degli elettroni (non hanno massa, ma sono costituiti soltanto d'energia), sfrecciano veloci come bici da corsa sulle piste ciclabili senza essere rallentati e andando diretti alla meta'.

## Pit Stop

9 Come è fatto un cavo in rame per la trasmissione dei dati?

10 Come è fatto un cavo in fibra ottica?

La **Figura 10** mostra l'ordine di grandezza delle velocità ottenibili con le principali architetture, paragonate alla tradizionale ADSL basata solo su cavi in rame.



→ **Fig. 10** Le architetture utilizzate per la trasmissione dei dati.

Le diverse architetture prevedono che la centrale si colleghi a una «centralina di prossimità», o «armadio», e, da questa, all'edificio dell'utente. Fa eccezione la tecnica FTTT, che prevede il collegamento dalla centrale a una stazione radio e, da qui, in modalità wireless, all'utente. La **Tavella 1** confronta le architetture FTTx con la connessione tradizionale ADSL che a partire dalla centrale utilizza esclusivamente il doppino telefonico in rame.

Le soluzioni ibride (fibra-rame) hanno prestazioni tanto maggiori quanto minore è il percorso dei dati sul cavo di rame.

### ■ La trasmissione wireless

#### Pit Stop

- 11 Come avviene la trasmissione dei dati nelle reti wireless?

Le **reti wireless** utilizzano le onde radio per trasmettere i dati e non necessitano di cavi, ma fanno uso di antenne (**Figura 11**). Un'antenna trasmette e riceve segnali elettromagnetici. I dati, per motivi di sicurezza, viaggiano spesso criptati. Gli ambiti di utilizzo dei sistemi wireless sono:

- le **reti locali** (WLAN, *Wireless LAN*), nelle quali i terminali mobili si collegano, tramite un access point, a un router per la navigazione in Internet;
- le **reti personali** senza fili (WPAN, *Wireless Personal Area Network*), come Bluetooth;
- i **sistemi IoT**. Questi fanno largo uso delle tecnologie senza fili. Esempi di utilizzo di tecnologie wireless usate nei sistemi IoT sono: ZigBee, BLE – *Bluetooth Low Energy*, LPWAN – *Low Power Wide Area Network*;

Antenne

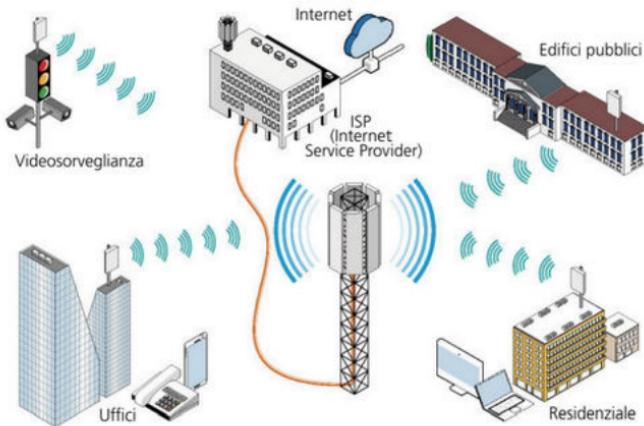


Antenne satellitari



◀ Fig. 11 Antenne.

- i **collegamenti a distanza** (per esempio ViMAX). Un'antenna posta solitamente sul tetto dell'edificio consente di collegarsi a Internet a velocità dell'ordine di qualche decina di Mbps, in un raggio di 50 km dalla stazione base (**Figura 12**);



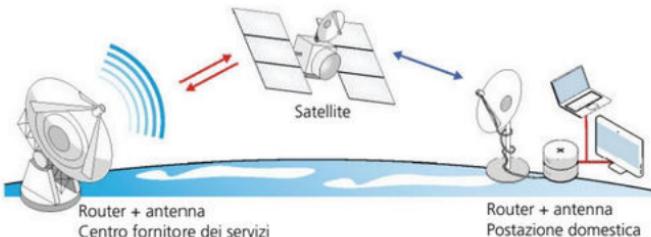
◀ Fig. 12 Antenna per connessioni wireless (WiMAX) a grandi distanze.

- **sistemi mobili 4G/5G.** 5G è l'insieme di standard che migliora le prestazioni del 4G. 5G è la quinta generazione delle tecnologie di telefonia mobile. La prima generazione (1G) risale agli anni Ottanta e da quel momento l'industria si è evoluta molto rapidamente. La **Figura 13** mostra un'antenna 5G. Le reti di dati basate su telefonia cellulare costituiscono un'ottima soluzione anche per l'IoT. Utilizzano frequenze radio comprese tra 30 e 300 GHz (EHF, Extremely High Frequency);

- **comunicazioni satellitari.** Usano dispositivi di trasmissione e ricezione situati nello spazio (**Figura 14** a pagina seguente). Disporre di un servizio Internet satellitare permette di collegarsi alla rete in tutte quelle zone che non sono coperte da altri servizi. Le tecnologie satellitari comunque hanno alcune limitazioni, che ne riducono la capacità, relative alla potenza di trasmissione.



↑ Fig. 13 Nelle aree urbane il fatto che i trasmittitori non richiedano molto spazio è un ulteriore punto di forza del 5G.



→ Fig. 14 Collegamento tramite satellite.

## 7 I segnali

**Un segnale è la variazione, nel tempo, di una grandezza fisica.**

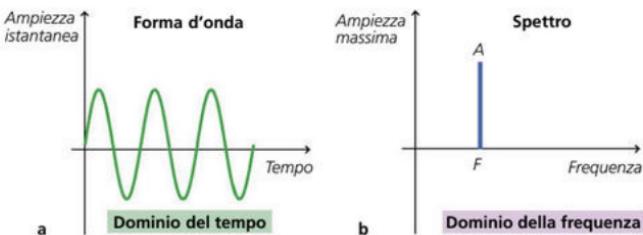
L'evoluzione del segnale nel tempo e l'analisi delle frequenze di cui è composto il suo spettro ci dicono molto sulle sue caratteristiche, sul modo di propagazione e sui problemi che incontra nel suo cammino quando è trasmesso su un canale. La doppia rappresentazione, nel dominio del tempo e in quello delle frequenze, ci permette di osservare aspetti diversi dello stesso fenomeno e di applicare gli strumenti matematici necessari per ottenere informazioni utili alla sua descrizione.

### I segnali nel dominio del tempo e delle frequenze

#### Pit Stop

- 12 Che cos'è un segnale?
- 13 Che cos'è la durata?
- 14 Che cos'è lo spettro?

→ Fig. 15 Rappresentazione di un segnale nel dominio del tempo (a) e della frequenza (b).



È possibile trasformare la rappresentazione di un segnale, passando da un dominio all'altro, applicando operatori matematici chiamati «trasformate».

L'analisi di Fourier (Figura 16 a pagina seguente) permette di studiare i segnali periodici (ad esempio un'onda quadra che ben approssima la trasmissione seriale dei bit) considerandoli come la somma di infinite onde sinusoidali (armoniche), di ampiezza e frequenza diversa. Questo modo di interpretare la realtà porta a studiare l'onda applicando le normali funzioni trigonometriche (seno e coseno) con i vantaggi che la manipolazione matematica fornisce.



#### Approfondimento

- Onde e moto armonico.
- La voce e le armoniche musicali.
- Serie di Fourier

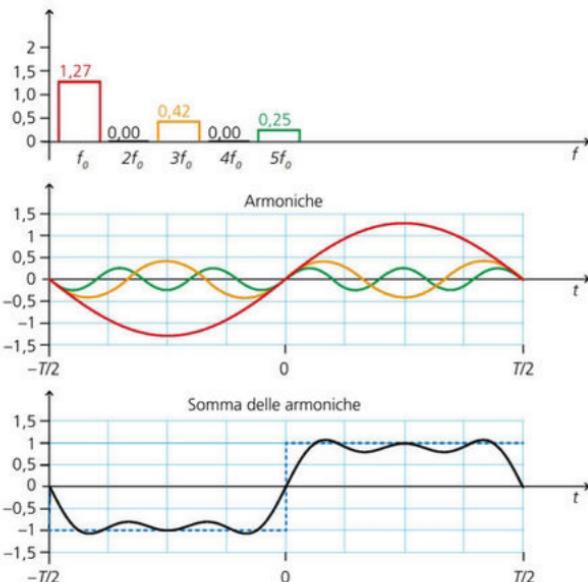


Fig. 16 La somma delle diverse onde con frequenze diverse (armoniche) produce l'onda quadrata (in nero, sotto). In blu, tratteggiata, l'onda quadrata teorica.

## La parola a... Jean Baptiste Fourier

Gli anni in cui visse Jean Baptiste Joseph Fourier furono attraversati da grandi eventi politici e sociali. Lui fu sempre in prima linea, tanto che rischiò la ghigliottina durante la Rivoluzione francese. Partito con Napoleone per la campagna d'Egitto, Fourier contribuì in larga parte all'avanzamento della matematica e della fisica con i suoi studi, anche a scopo militare, sulla propagazione del calore. Da qui derivarono le serie matematiche utilizzate, successivamente, nel campo della trasmissione delle onde.

Così introduce la sua «Teoria analitica del calore» pubblicata nel 1822: «Le cause principali [dei fenomeni fisici] sono sconosciute, ma sono soggette a leggi semplici e costanti.

Il calore, come la gravità, permea ogni sostanza dell'universo, i suoi raggi occupano tutte le parti dello spazio. Lo scopo del nostro lavoro è di esporre le leggi matematiche alle quali obbedisce questo elemento. Le equazioni del movimento del calore, come quelle che esprimono le vibrazioni dei corpi sonori, o l'oscillazione ultima dei liquidi, appartengono a uno dei rami di analisi scoperti di recente, che è molto importante perfezionare. Vediamo, ad esempio, che la stessa espressione matematica rappresenta anche il moto della luce nell'atmosfera, determina le leggi di diffusione del calore nella materia solida, ed entra in tutti i problemi principali della teoria della probabilità».



## ■ Attenuazione, distorsione, rumore

Se corriamo in salita, disperdiamo sotto forma di calore l'energia che abbiamo accumulato con il cibo: sudiamo e a lungo andare ci assale la stanchezza, il fiato ci manca, i passi rallentano e, prima o poi, ci fermiamo. Può andare peggio se un vento contrario o altri fenomeni atmosferici disturbano la corsa.

**Pit Stop**

**15** Quali sono i fattori che influenzano il segnale?

Anche i segnali trasmessi sono sottoposti alle leggi di natura. Gli effetti si manifestano con la degradazione e la corruzione del segnale, e si può arrivare al punto in cui venga stravolta completamente la forma d'onda originale e vada persa l'informazione trasportata dal segnale.

In particolare, come specificato nella **Tavella 2**, i segnali devono fare i conti con tre fattori:

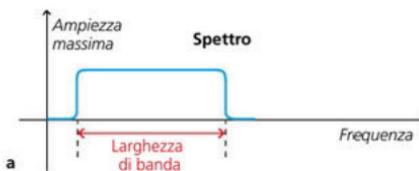
- **attenuazione**: il segnale perde energia durante la propagazione nel mezzo fisico, ma mantiene la stessa forma; l'energia persa è trasformata in calore o in un'altra forma di energia;
- **distorsione**: il segnale cambia la sua forma d'onda nel tempo;
- **rumore**: il segnale viene corrotto.

↓ Tab. 2 Fattori che degradano il segnale.

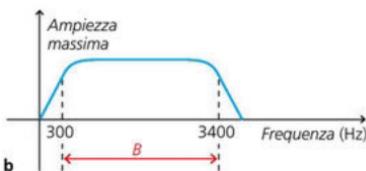
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Attenuazione.</b> L'energia del segnale, durante la sua propagazione nel mezzo fisico, si disperde in calore o sotto altre forme, e l'ampiezza del segnale si riduce.</p>                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p><b>Distorsione.</b> Un segnale può essere pensato come la somma delle diverse armoniche di cui è composto. Ogni armonica viaggia a una velocità diversa dalle altre. Dopo un certo tempo dalla partenza le armoniche non sono più allineate e la ricostruzione del segnale può subire distorsioni tali da renderlo irriconoscibile.</p>                            | <p>La traccia blu rappresenta il segnale trasmesso, quella rossa rappresenta il segnale ricevuto.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>I disturbi (<b>rumore</b>, <i>noise</i>) esterni sono, solitamente, segnali ad alta frequenza, che giungono da fonti esterne e che si <b>sommano al segnale</b> (figura a destra) e lo influenzano, introducendo distorsioni. Per esempio, nella trasmissione digitale il valore di tensione corrispondente a un «1» logico può diventare uno «0» o viceversa.</p> | <p>Rumore (in rosso) che si somma alla trasmissione dei bit 0 e 1 sotto forma di livelli diversi di tensione. Di solito ha importanza studiare l'entità del rumore rispetto al segnale (<b>signal to noise ratio</b>), più che il valore del rumore in termini assoluti. Infatti, per esempio, dove c'è silenzio, ad esempio in alta montagna, è sufficiente parlare sottovoce per essere ascoltati. Non così in una discoteca, dove per farsi sentire occorre gridare.</p> |

**Ampiezza o larghezza di banda**

Ogni mezzo trasmissivo ha un'**ampiezza o larghezza di banda**, o **banda passante**, che è la differenza tra la frequenza massima e la frequenza minima ammessa su quel canale (Figura 17).



↑ Fig. 17a La banda è l'intervallo tra due frequenze.



↑ Fig. 17b Banda passante (B) di un doppino telefonico.



### Approfondimento

Tecnica del multilivello

La banda passante determina la velocità di trasmissione.

Più precisamente, la **capacità del canale (C)**, cioè la quantità massima di dati che un canale trasporta nell'unità di tempo, è proporzionale all'ampiezza di banda ( $B$ ) e al rapporto tra la potenza del segnale ( $S$ ) trasmesso e la potenza del rumore ( $N$ , *noise*), secondo la legge di Hartley-Shannon:

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

La capacità  $C$  si misura in bit al secondo, la banda  $B$  è espressa in hertz e  $S/N$  in decibel [ $1 \text{ dB} = 10 \cdot \log(S/N)$ ].

### Esempio 1

Determiniamo la capacità di un canale con banda passante uguale a 138 kHz e rapporto segnale/rumore uguale a 35 dB.

$$C = 138 \cdot 10^3 \log_2(1 + 10^{35/10}) = 1600,8 \text{ [kbps]}$$

### Pit Stop

**16** Che cos'è la banda passante?

**17** Che cos'è la capacità del canale?

### Comprendi con l'analogia

La capacità di un canale di trasmissione è come la capacità di una conduttura dell'acqua



La capacità di un canale trasmissivo è analoga a quella di una conduttura dell'acqua. La portata, cioè il volume di fluido che passa nella sezione di un tubo nell'unità di tempo, dipende, oltre che dalla sezione del tubo, da altri fattori, come la differenza di pressione e la viscosità. Questi stessi concetti possono essere applicati anche al flusso sanguigno e spiegano l'inevitabile aumento della pressione arteriosa che avviene con l'avanzare dell'età, dovuta a una riduzione della sezione delle arterie.

### notabene

Il numero di bit trasmessi in un secondo si misura in bps (bit per secondo). Il "baud rate" indica il numero di transizioni del segnale, o impulsi, che vengono trasmessi in un secondo. Ogni impulso è chiamato baud.

Il termine «baud» deriva dal «Codice Baudot» inventato da Jean Maurice Emile Baudot, ufficiale del servizio telegrafico francese verso la fine del diciannovesimo secolo.

## 8 | Tecniche di codifica

Un dato codificato in binario è una sequenza di bit a ciascuno dei quali è associato un determinato livello del segnale.

È possibile scegliere tra codifiche con caratteristiche differenti che hanno lo scopo di permettere al ricevitore di sincronizzarsi con il trasmettitore per identificare i bit e migliorare le prestazioni della trasmissione.

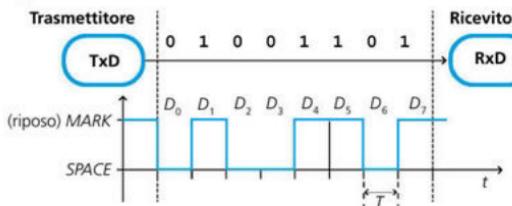
La codifica può essere di due generi:

- **unipolare**, in cui tutti gli stati del segnale hanno lo stesso segno;
- **bipolare**, in cui gli stati del segnale hanno diverso segno.

↓ Tab. 3 Alcune tecniche di codifica. La Tabella 3 mostra alcuni esempi di codifica.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <p>Codifica NRZ (Non Return to Zero)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lo stato digitale «1» è rappresentato con un livello di segnale alto di tensione.</li> <li>Lo stato digitale «0» è rappresentato con un livello di segnale basso di tensione.</li> </ul> <p>Questo metodo è semplice e poco soggetto a errori, ma, di contro, lunghe sequenze di «0» o «1» potrebbero far perdere il sincronismo tra il trasmettitore e il ricevitore.</p> | <p>NRZ</p>                     |
| <p>Codifica RZ (Return to Zero)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lo stato digitale «1» è rappresentato con un livello di segnale alto di tensione.</li> <li>Lo stato digitale «0» è rappresentato con un livello di segnale basso di tensione.</li> <li>A metà del tempo di durata del bit (semiperiodo) il segnale torna a zero.</li> </ul> <p>In questo caso lunghe sequenze di «0» o «1» non fanno perdere il sincronismo.</p>                | <p>RZ</p>                      |
| <p>Codifica di Manchester</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lo stato digitale «1» è rappresentato con una transizione alto/basso del segnale a metà del bit time.</li> <li>Lo stato digitale «0» è rappresentato con una transizione basso/alto del segnale a metà del bit time.</li> </ul> <p>In questo caso lunghe sequenze di «0» o «1» non fanno perdere il sincronismo. Lo svantaggio è che il 50% della durata del bit va perso.</p>        | <p>Manchester</p>              |
| <p>Codifica di Manchester differenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lo stato digitale «1» è rappresentato dal mantenimento dello stato del segnale (rispetto al precedente) all'inizio del bit time.</li> <li>Lo stato digitale «0» è rappresentato dalla variazione dello stato del segnale (rispetto al precedente) all'inizio del bit time.</li> </ul>                                                                                   | <p>Manchester Differential</p> |
| <p>Codifica di AMI (Alternate Marking Inversion)</p> <p>È una codifica a tre livelli di tensione, in cui al bit 0 corrisponde sempre il livello 0 e al bit 1 corrispondono, alternativamente, +1 e -1.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lo stato digitale «1» è rappresentato, alternativamente dal livello +1 e -1.</li> <li>Lo stato digitale «0» è rappresentato sempre dal livello 0.</li> </ul>                                             | <p>AMI</p>                     |

↓ Fig. 18 Trasmissione seriale. I bit 0 e 1 sono trasmessi in sequenza dal trasmettitore sul filo TxD e ricevuti sul filo RxD. T rappresenta la durata del bit.



## 9 Trasmissione seriale

La trasmissione seriale è la tecnica più utilizzata nella trasmissione via cavo dei dati a distanza, perché è la più economica, essendo sufficiente un solo filo (oltre la massa) per trasmettere il segnale.

Nella trasmissione seriale, infatti, il dato è trasmesso come una **sequenza di bit**. La Figura 18 mostra un esempio di trasmissione seriale in cui i bit sono emessi e trasmessi dal meno significativo ( $D_0$ ) a quello più significativo ( $D_7$ ).

Trasmettitore e ricevitore si devono sincronizzare per poter interpretare correttamente l'inizio e la fine della trasmissione del dato.

Per fare questo, il trasmettitore e il ricevitore potrebbero condividere un filo ulteriore per il segnale di clock, un orologio comune che impone il ritmo alle stazioni trasmittente e ricevente. Questa soluzione non è utilizzata su lunghe distanze perché è onerosa.

Le soluzioni adottate per effettuare la trasmissione seriale sono di due tipi :

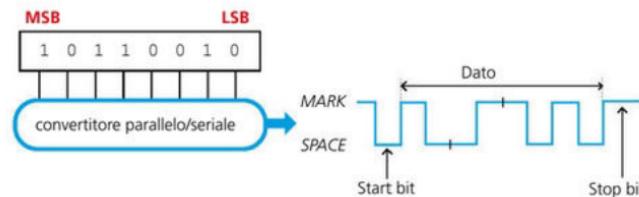
- la **trasmissione asincrona**;
- la **trasmissione sincrona**.

### Pit Stop

- 18** Come viene trasmesso il dato nella trasmissione seriale?
- 19** Quali sono le soluzioni adottate nella trasmissione seriale?

#### ■ La trasmissione asincrona

- La trasmissione seriale asincrona è caratterizzata da un **bit di Start** (*Start bit*), che precede il dato vero e proprio, e da uno o più **bit di Stop** (*Stop bit*), che indica la fine del dato. I bit di Start e Stop sono utilizzati per sincronizzare l'inizio e la fine del dato.
- Lo stato logico 1 viene detto **Mark**, lo stato 0 viene detto **Space** (Figura 19).



◀ Fig. 19 Trasmissione seriale asincrona con bit di start e di stop, dopo la conversione da parallelo a seriale.

MSB = Most Significant Bit (bit più significativo);  
LSB = Least Significant Bit (bit meno significativo)

- Ogni bit viene emesso per un intervallo di tempo  $T$  costante per mantenere la sincronizzazione tra trasmittente e ricevente. Ciò implica che trasmittitore e ricevitore lavorino alla stessa velocità.
- Un dato è composto da un numero predeterminato di bit, che può variare da 5 a 8, noto sia al trasmittitore, sia al ricevitore.
- Il primo bit a essere trasmesso è, in genere, quello meno significativo.
- A volte, per rilevare eventuali errori di trasmissione, il bit di Stop è preceduto dal **bit di parità** (*Parity bit*). La parità può essere:
  - **Even** (pari); il numero di bit di valore 1 deve essere pari. Per esempio la parità pari applicata al valore 01010101 (55h) è "0", mentre applicata a 01010100 (54h) è "1". Entrambe le parole possiedono 4 bit a "1", compresa la parità (vedi **Esempio 2**);
  - **Odd** (dispari); il numero di bit a 1 deve essere dispari.
- I bit di Start, Stop e parità sono bit di ridondanza, la quale è **percentualmente molto elevata**. Ad esempio, una trasmissione con 7 bit di dato, parità Even, 1 bit di Stop, prevede la trasmissione di 10 bit con un 30% di ridondanza.
- La velocità di trasmissione ( $V_b$ ) è inversamente proporzionale alla durata dei bit ( $T_b$ ):

$$V_b = \frac{1}{T_b}$$

La tabella mostra alcuni esempi di calcolo della velocità di trasmissione (i valori forniscano l'ordine di grandezza).

Notiamo che si fa riferimento alla trasmissione di caratteri a 8 bit (8), nessuna parità (N) e un bit di Stop (1). In totale 10 bit, compreso il bit di Start.

| $V_b$ (bps) | $T_b$ (s)   | Carattere (8,N,1) | Tempo di file [s] (100 kbyte)                  |
|-------------|-------------|-------------------|------------------------------------------------|
| 600         | 1 ms        | 10 ms             |                                                |
| 1200        | 800 $\mu$ s | 8 ms              |                                                |
| 2400        | 400 $\mu$ s | 4 ms              |                                                |
| 4800        | 200 $\mu$ s | 2 ms              |                                                |
| 9600        | 100 $\mu$ s | 1 ms              | $10^5 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 100 \text{ s}$ |
| 14400       | 69 $\mu$ s  | 690 $\mu$ s       |                                                |
| 28800       | 34 $\mu$ s  | 340 $\mu$ s       |                                                |
| 33600       | 29 $\mu$ s  | 290 $\mu$ s       | $10^5 \cdot 300 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 30$  |



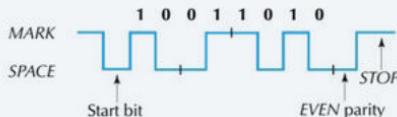
### Approfondimento

Due esempi di trasmissione seriale

L'**Esempio 2** mostra l'invio di un dato a 8 bit, che corrisponde alla codifica ASCII della lettera «Y».

### Esempio 2

Trasmissione del carattere «Y» codificato in ASCII secondo il formato 8, E, 1:



8 bit di dato, parità EVEN, 1 bit di Stop (8, E, 1); «Y» = 01011001

L'**UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)** è il dispositivo programmabile che converte il flusso di bit dal formato parallelo a quello seriale e trasmette i bit in modalità asincrona.

### ■ La trasmissione sincrona

- Nella trasmissione sincrona, trasmettitore e ricevitore condividono lo stesso clock che viaggia su una linea dedicata che collega i due dispositivi, o viene estratto, mediante appositi circuiti elettronici, dai dati ricevuti. I dati sono organizzati in blocchi (frame), anziché in singoli caratteri (Figura 20) e, di solito, vengono gestiti da protocolli appartenenti al livello Data Link.



→ Fig. 20 Il blocco di dati nella trasmissione sincrona è preceduto da caratteri (o bit) di sincronismo.

- I frame sono preceduti da bit (flag) o caratteri (SYN), che vengono utilizzati dal ricevitore per individuare l'inizio del blocco, senza la necessità di bit di Start e Stop per ogni carattere trasmesso.
- La ridondanza è percentualmente ridotta.

- L'efficienza e la velocità globale risultano superiori a quella della trasmissione asincrona e possono essere trasmessi con continuità tra mittente e destinatario.
- L'USART (Universal Synchronous-Asynchronous Receiver-Transmitter)** è il dispositivo programmabile che converte il flusso di bit dal formato parallelo a quello seriale e li trasmette in modalità sincrona.

### notabene

Nel mondo delle comunicazioni l'elemento sincrono e asincrono assumono un diverso significato rispetto a quello descritto per la trasmissione dati:

- la comunicazione sincrona è quella diretta, faccia a faccia, come in una videoconferenza;
- la comunicazione asincrona comporta, di solito, un certo tempo di ritardo nello scambio dei messaggi, come avviene nella posta elettronica o nei post dei forum.

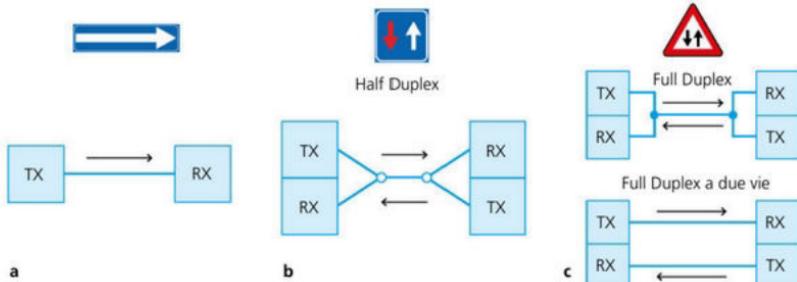
## 10 Modalità di trasmissione

Lo scambio dati tra terminali può avvenire sul canale in tre modi.

- Simplex. Monodirezionale.** La trasmissione avviene in una sola direzione dal trasmettitore al ricevitore (**Figura 21a**). È la modalità più semplice, utilizzata, ad esempio, nelle trasmissioni radiofoniche e televisive, oppure nell'ascolto di un audiolibro.
- Half duplex. Bidirezionale alternato.** La trasmissione avviene nei due sensi di un unico canale, ma in modo alternato: prima l'uno trasmette e l'altro riceve e poi le parti si invertono (**Figura 21b**). I messaggi inviati su cellulare possono costituire un buon esempio, così come il walkie-talkie, oppure i baby monitor e le telecamere.
- Full duplex. Bidirezionale simultaneo.** La trasmissione avviene su un unico mezzo nei due sensi in contemporanea, senza contesa del canale. Ne sono un esempio le videochiamate o le conversazioni telefoniche. La maggior parte delle comunicazioni avvengono in questo modo perché di fatto si radoppia la banda passante totale del mezzo di trasmissione, come avviene in molte connessioni Ethernet, che fanno uso di due doppiini di rame o due fibre ottiche collegate al dispositivo di rete (si veda alla fine dell'Unità l'attività di Laboratorio: «Montare un cavo UTP per rete Ethernet»).

La modalità full-duplex può utilizzare un singolo canale fisico per comunicare in entrambe le direzioni, oppure due canali distinti, uno per ciascuna direzione (**Figura 21c**), anche se, dal punto di vista dell'utente, questa distinzione non è rilevante.

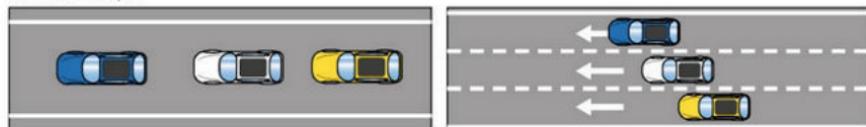
↓ Fig. 21 I tre modi in cui può avvenire lo scambio dati tra terminali: **a** Simplex: senso unico; **b** Half Duplex: senso unico alternato; **c** Full Duplex: doppio senso di trasmissione.



## 11 Accesso multiplo al canale

Se vogliamo andare da Milano a Roma in autostrada, non possiamo certo pretendere che l'intero tratto autostradale sia riservato solo per noi! La strada è una risorsa limitata e costosa e ogni mezzo utilizza solo per un certo tempo un tratto di strada (**Figura 22a** a pagina seguente).

↓ Fig. 22 I vantaggi dell'accesso multiplo.



↑ Fig. 22a I mezzi percorrono, uno dopo l'altro, lo stesso percorso e ciascuno di essi occupa successivamente lo stesso spazio di strada.

↑ Fig. 22b Con l'accesso multiplo i mezzi percorrono in parallelo le diverse corsie occupandole nello stesso istante di tempo.

### Pit Stop

20 In che cosa consiste l'accesso multiplo?

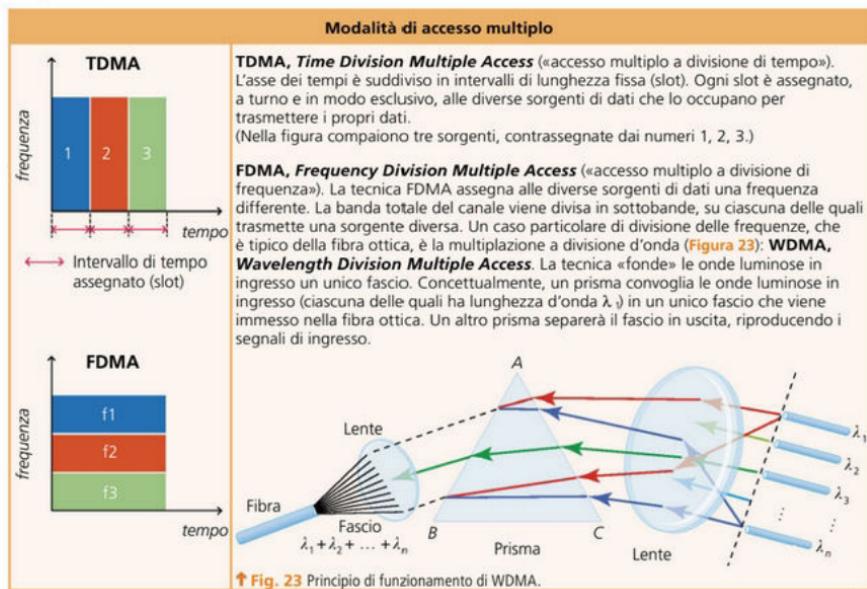
La stessa cosa viene fatta anche nelle reti, che hanno una banda limitata e costosa.

Applicando la tecnica dell'**accesso multiplo**, lo stesso canale è suddiviso in più sottocanali per permettere la trasmissione in contemporanea da parte di più sorgenti.

L'accesso multiplo è realizzato in tre diversi modi (Tabella 4):

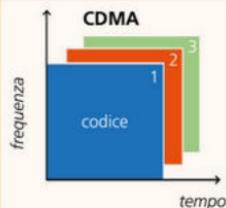
- **TDMA (Time Division Multiple Access)**, che divide il canale in base al **tempo**;
- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**, che divide il canale in base alla **frequenza**;
- **CDMA (Code Division Multiple Access)**, che assegna **codici di identificazione**.

↓ Tab. 4 Confronto tra i principali metodi di accesso multiplo al canale.



↑ Fig. 23 Principio di funzionamento di WDMA.

### Modalità di accesso multiplo



**CDMA, Code Division Multiple Access** («accesso multiplo a divisione di codice»). CDMA è una tecnologia che utilizza l'intera banda di frequenza disponibile e assegna un codice digitale a ciascuna sorgente, la quale condivide con le altre la stessa porzione di spettro delle frequenze radio. Le sorgenti condividono tempo e frequenza e sono identificate da codici specifici.

### Comprendi con l'analogia

**Utilizzare la CDMA è come estrarre l'informazione da un brusio indistinto**

Immagina di essere a un convegno, insieme a tanti ospiti, durante un momento di pausa tra una conferenza e l'altra. Nella sala in cui si svolge l'evento si formano capannelli di persone che parlano tra loro di cose diverse e magari usano lingue diverse. Le voci si sommano tra loro e un ascoltatore esterno percepisce solo brusio indistinto. Di fatto però ciascun capannello di persone ignora il brusio di fondo e pone attenzione solo al proprio codice di comunicazione.

L'accesso multiplo a divisione di codice si basa proprio sul fatto che ogni stazione codifica l'informazione in modo diverso dalle altre. I codici vengono «sommati», inviati al ricevitore che li decodifica opportunamente, ottenendo l'informazione desiderata.



### notabene

Esistono anche altre tecniche di accesso al canale, come la tecnica **CSMA (Carrier Sense Multiple Access)**, che sfruttano appositi algoritmi per evitare collisioni se due dispositivi trasmettono contemporaneamente. Parleremo diffusamente di queste tecniche quando studieremo il livello di collegamento delle reti locali.

# Approfondimento - Tecnologia

## La conversione analogico-digitale

### Introduzione

I segnali del mondo reale sono **analogici**, ossia vengono descritti da grandezze che variano con continuità, mentre un elaboratore è in grado di gestire solo sequenze di bit. È necessario quindi convertire i segnali analogici in **segnali digitali**.

Quando si esegue questa conversione ci si trova in una situazione simile per esempio a quella che si presenta nel rilevare il peso di un neonato.

Fare la pesata due o tre volte al giorno è completamente inutile, perché non si aggiungerebbe alcuna informazione significativa a quella che già si possiede. Del resto è del tutto fuori luogo fare la pesata ogni tre o quattro mesi, perché, al contrario, non si potrebbe seguire la crescita correttamente. Occorre trovare una via di mezzo che, di norma, consiste nel fare una pesata una volta alla settimana. Anche nella conversione analogico-digitale bisogna determinare la giusta frequenza con cui rilevare la grandezza continua.

Il **campionamento** è l'operazione che preleva il valore analogico (il **campione**). Il **teorema del campionamento** definisce il criterio per determinare la frequenza con cui il segnale è campionato.

Il **convertitore analogico-digitale** (ADC, *Analog to Digital Converter*) è il dispositivo che opera la conversione, mentre DAC (*Digital to Analog Converter*) opera al contrario.

### Le fasi del campionamento

La conversione da una grandezza continua in valori numerici segue tre fasi:

- **campionamento**: è l'operazione che rileva a intervalli regolari la grandezza continua e la trasforma in valori discreti. Il valore del tempo  $T$  che deve intercorrere tra due rilevazioni è definito dal «Teorema del campionamento», che stabilisce che la frequenza ( $f$ ) di campionamento (*sampling*) di un segnale deve sempre essere almeno doppia della massima frequenza del segnale da campionare:

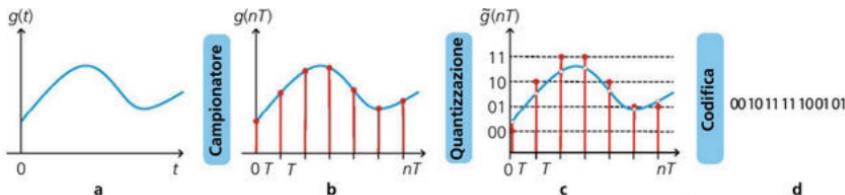
$$f_{\text{samp}} \geq 2f_{\text{max}}$$

- **quantizzazione**: è la fase in cui ogni campione viene trasformato in una quantità discreta, la quale può assumere valori solo in corrispondenza di un prestabilito numero di livelli: per esempio, nella **Figura 1c** ci sono quattro livelli a disposizione;
- **codifica**: è l'operazione con cui i valori campionati e quantizzati sono trasformati in una modalità adatta alla trasmissione.

La **Figura 1** mostra come il convertitore analogico-digitale compie le tre operazioni in sequenza sul segnale analogico continuo  $f(t)$ :

- campionamento:  $f(t)$  è trasformato in un segnale numerico, rilevando i valori a intervalli di tempo  $T$  (**Figura 1b**);
- quantizzazione: il segnale campionato è suddiviso in 4 livelli (**Figura 1c**);

- codifica: i livelli dell'ampiezza sono convertiti in valori digitali. Ogni campione è espresso come coppia di bit: 00, 01, 10, 11 (Figura 1d).



Come si intuisce anche dalla Figura 1c, la quantizzazione introduce errori che impediscono la ricostruzione del segnale originale. Aumentando il numero dei livelli di quantizzazione, aumentano anche la precisione e il numero di bit necessari alla codifica. Ad esempio, con 7 bit si codificano 128 livelli, ma con un bit in più (8 bit) i livelli raddoppiano a 256.

Fig. 1 Il segnale continuo (a) nel tempo  $g(t)$  viene campionato (b) a intervalli di tempo  $T$  con frequenza di campionamento uguale a  $f = \frac{1}{T}$  e trasformato nel segnale discreto  $\tilde{g}(nT)$ . (c) I livelli di quantizzazione sono 4. Ogni punto è codificato con 2 bit (d).

### Esempio 1

La voce umana trasmessa su una linea telefonica (che ha una banda di 4000 Hz) deve essere campionata, per il teorema omonimo, almeno 8000 volte al secondo, che significa prelevare un campione ogni 125 milionesimi di secondo ( $1/8000 = 0,000125$ ).

Con una codifica a 8 bit sono necessari 64000 bit per campionare ogni secondo di voce.

### Comprendi con l'analogia

La retina è una sorta di fantastico convertitore analogico-digitale naturale

La retina trasforma un segnale luminoso in uno elettrico e permette anche una prima elaborazione dell'immagine. Il collegamento tra la retina e il cervello è costituito dal nervo ottico, formato da fibre nervose, su cui viaggia il segnale digitale costituito da una serie di impulsi elettrici (*spikes*). Gli impulsi sono circa 1000 al secondo, perciò possiamo dire che nell'occhio un segnale analogico in ingresso (la luce percepita) è trasformato in un segnale «digitale» in uscita diretta verso il cervello. I fotorecettori svolgono la funzione di trasduzione, sono cioè cellule (coni e bastoncelli) sensibili alla luce in grado di trasformare il segnale luminoso in informazione chimica e quindi elettrica.



# Laboratorio

## ATTIVITÀ 1

### Applicare lo schema della comunicazione di Shannon al controllo di una diga

Quando due soggetti (che siano persone, macchine, animali, cose) comunicano tra loro, utilizzano dei meccanismi che Shannon e Weaver nel 1948-49 hanno studiato e codificato nella **«Teoria matematica della comunicazione»**.

Applichiamo questo schema a un progetto ideale semplificato che deve segnalare a distanza che in un bacino idrico l'acqua ha raggiunto un livello di pericolo (Figura 1).

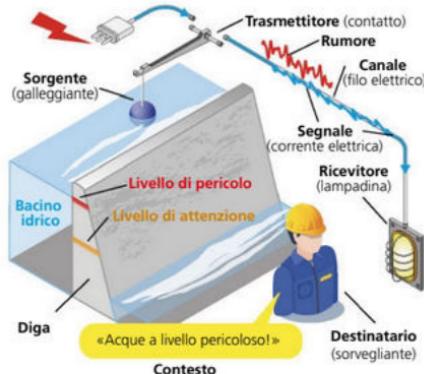


Fig. 1 Lo schema della comunicazione applicato a una diga.

#### Scenario

Nella diga è presente un galleggiante che agisce su un contatto elettrico (nella realtà potrebbe essere un sensore di prossimità, una fotocellula, un radar...). La chiusura del circuito determina l'emissione di un segnale elettrico che attraversa il filo e arriva fino a una lampadina (nella realtà un display, un monitor...) posta nell'ufficio del sorvegliante della diga. Il sorvegliante interpreta l'accensione della lampadina come: «acque a livello pericoloso».

#### Consegna

Segnalare a distanza il messaggio **«acque a livello pericoloso»**.

#### Svolgimento

#### Traduzione nel modello di Shannon

|                            |                                                                                             |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Referente/Contesto         | «acque a livello pericoloso»                                                                |
| Sorgente                   | galleggiante                                                                                |
| Trasmettitore/Codificatore | interruttore che fa chiudere il contatto elettrico producendo il messaggio in codice ON/OFF |
| Segnale                    | corrente elettrica                                                                          |
| Canale                     | filo di rame                                                                                |
| Ricevitore/Decodificatore  | lampada                                                                                     |
| Destinatario               | sorvegliante                                                                                |

### Considerazioni sui codici e sulla ridondanza

Il messaggio trasmesso viene codificato con un codice (**Codice A**) che corrisponde a due stati della lampadina (v. tabella a fianco).

Le interferenze nel canale possono produrre errori nel messaggio. Per esempio, un disturbo lungo il filo può provocare l'erronea accensione o l'errore spegnimento della lampadina.

Per evitare false interpretazioni, introduciamo due lampadine a cui associamo il **Codice B** (v. tabella a fianco).

Quali sono le differenze tra i due codici?

#### Il Codice A:

- prevede due stati a cui sono associati messaggi distinti;
- è meno costoso e più semplice;
- si basa sulla contrapposizione fra presenza e assenza di luce.

| CODICE A    |                                                                                   |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| stato/segna | messaggio                                                                         |
| luce spenta |  |
| luce accesa |  |

| CODICE B             |                                                                                   |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| stato/segna          | messaggio                                                                         |
| luce rossa<br>accesa |  |
| luce verde<br>accesa |  |
| luce rossa<br>spenta |  |
| luce verde<br>spenta |  |

Un codice di questo tipo obbedisce al **principio di economicità e minimo sforzo**.

#### Il Codice B:

- utilizza due lampadine di colore diverso e due canali;
- è più costoso e più complesso, perché il destinatario deve saper distinguere le diverse luci.

Questo tipo di codice è detto **ridondante**, perché è in grado di codificare 4 diversi stati anche se ne servono solo due: infatti agli stati con entrambe le lampadine spente o entrambe le lampadine accese non è associato alcun significato; vi sono cioè degli stati non decodificabili. Se consideriamo i possibili effetti del rumore sui due codici, il Codice B è **vantaggioso** rispetto al Codice A. Infatti nel caso del Codice A un contatto difettoso potrebbe non far accendere la lampadina nonostante un pericolo effettivo. Al contrario, nel caso del Codice B, questo evento non può verificarsi, perché non è previsto alcun messaggio che codifichi entrambe le lampadine spente. Dunque un eventuale guasto ai contatti non può trarre in errore il sorvegliante perché due luci spente non sono ammesse dai codici previsti. Al **principio di economicità** si è sostituito quello di **ridondanza**. Il maggior costo (due lampadine al posto di una sola) è compensato da affidabilità. La ridondanza, quindi, funziona da rilevatore dei possibili errori che possono avvenire nella trasmissione di un messaggio. Inoltre, la ridondanza ha anche un'altra funzione: consente di adattarsi a situazioni inattese e produrre nuovi messaggi. Per esempio, nel caso in cui si volesse introdurre un nuovo messaggio, come «livello di attenzione», basterebbe creare uno stato che contempli entrambe le lampadine accese (come mostra la tabella), ma ciò sarebbe impossibile con il Codice A.

| Luce verde | Luce rossa | Significato                  |
|------------|------------|------------------------------|
| 0          | 0          | non previsto                 |
| 0          | 1          | «acque a livello pericoloso» |
| 1          | 0          | «livello sicuro delle acque» |
| 1          | 1          | «livello di attenzione»      |

**ATTIVITÀ 2****Mezzi fisici di trasmissione disponibili in Packet Tracer**

In questa attività consideriamo i mezzi fisici di trasmissione disponibili per progettare una rete con Packet Tracer. La Figura 2 mostra una rete in cui sono utilizzati diversi mezzi fisici:

- USB;
- IoT;
- cavo Fast Ethernet (Fa) e Gigabit Ethernet (Gig) diritto e incrociato;
- coassiale (Coax);
- seriale (Se);
- fibra ottica (Fa e Gig);
- collegamento Wi-Fi;
- torre per telefoni cellulari (Cell Tower).

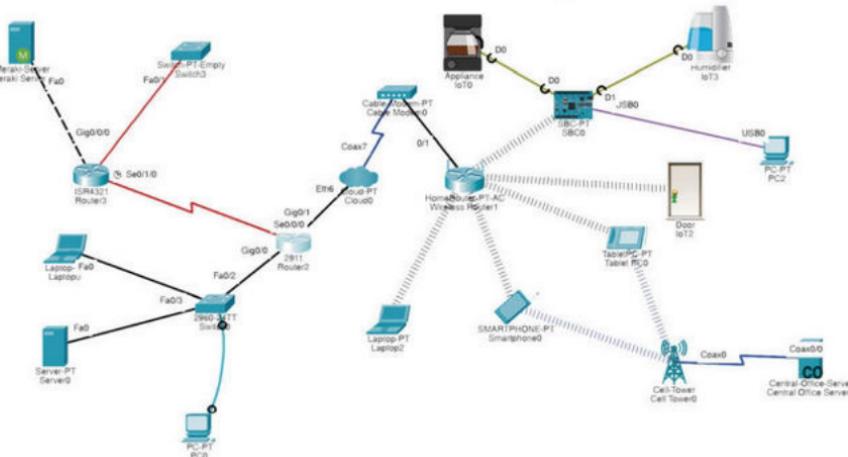


Fig. 2.

La tabella seguente mostra alcuni cavi disponibili in Packet Tracer.

|         |                         |                   |              |       |           |                   |                           |     |     |
|---------|-------------------------|-------------------|--------------|-------|-----------|-------------------|---------------------------|-----|-----|
|         |                         |                   |              |       |           |                   |                           |     |     |
| Console | Copper Straight-through | Copper Cross-over | Fibra Ottica | Phone | Coassiale | Seriale (per WAN) | Cavo ottico (audio-video) | USB | IoT |

La tabella seguente riporta la legenda e la descrizione dei diversi mezzi di trasmissione.

| Tipo di cavo                                               | Immagine | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Console</b>                                             |          | Cavo per effettuare connessioni seriali asincrone (7/8 bit con parità e bit di Start/Stop) da un PC terminale (console) a un router o uno switch.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Copper Straight-through</b><br>(cavo di rame «diritto») |          | Cavo Ethernet standard in rame, per il collegamento alle interfacce dei dispositivi di rete (PC, router e switch) con velocità diverse: 10 Mbps (Ethernet), 100 Mbps (Fast Ethernet) e 1000 Mbps (Gigabit Ethernet).                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Copper Cross-over</b><br>(cavo di rame incrociato)      |          | Cavo con le stesse funzioni di quello «diritto», ma con i pin di RX (ricezione) e TX (trasmissione) incrociati. Utile per collegamenti tra dispositivi simili (DTE-DTE, DCE-DCE), ad esempio PC-PC o Router-Router.<br>(DTE - Data Terminal Equipment: un qualsiasi dispositivo che è la sorgente o la destinazione di una comunicazione dati. DCE - Data Communication Equipment: un qualsiasi dispositivo utilizzato per interfacciare le linee di comunicazione.) |
| <b>Fibra Ottica</b>                                        |          | Supporto in fibra ottica per connessioni con porte in fibra (100 Mbps o 1000 Mbps).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Phone</b>                                               |          | Cavo (telefonico) per connessioni con modem.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Coaxial</b> (coassiale)                                 |          | Cavo coassiale.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Seriële</b> (per WAN)                                   |          | Cavi seriali per collegamenti WAN con clock o senza.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| IoT custom cable                                           |          | Cavo per collegare dispositivi intelligenti con microcontrollori (MCU) e computer a scheda singola (SBC). Il cavo raggruppa le linee dati, alimentazione e massa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>USB</b>                                                 |          | Cavo USB per collegare porte seriali USB presenti nei diversi dispositivi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Wireless</b>                                            |          | Collegamenti wireless tra «access point» e dispositivi finali (PC, server e stampanti).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Cell-Tower</b>                                          |          | Le torri per telefoni cellulari (stazioni base) sono strutture con un'antenna e dei trasmettitori e dei ricevitori situati nella parte alta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |



### ATTIVITÀ 3

#### La gestione Router Switch con Console cable

Disponibile nell'eBook.

### ATTIVITÀ 4

#### Montare un cavo UTP per rete Ethernet

Il cavo di rete Ethernet è un doppino (**TP, Twisted Pair**) particolare che garantisce velocità dell'ordine dei 100/1000 Mbps. Come mostra la Figura 3, il TP è costituito da 4 coppie intrecciate di fili, ogni coppia è intrecciata per ridurre l'interferenza causata da disturbi elettromagnetici (EMI) e da segnali radio (RFI) prodotti dalle altre coppie o da altre apparecchiature elettriche.

I cavi UTP sono divisi in categorie corrispondenti a diverse velocità trasmissive supportate: la categoria 5e raggiunge i 100 Mbps, le categorie 6 e 7 consentono velocità dell'ordine dei Gbps. I fili che trasportano i dati hanno nomi e colori definiti dagli standard, e i connettori hanno pinidature anch'esse definite dagli standard (RJ45 – ISO 8877) (Figura 4).



Fig. 3 Il connettore RJ45 (sopra) e i cavi intrecciati del doppino TP (sotto).

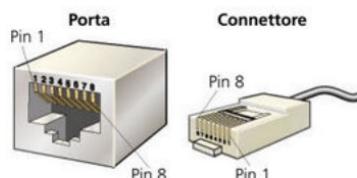
Per il cablaggio di connettori RJ45 a otto posizioni sono utilizzati gli standard T568A e T568B. L'unica differenza tra essi è che le coppie di fili arancione e verde sono scambiate.

### Colori dello standard EIA/TIA T568A

|     |  |
|-----|--|
| TX+ |  |
| TX- |  |
| RX+ |  |
| RX- |  |

### RJ45 Pin°

|                |   |
|----------------|---|
| Verde/Bianco   | 1 |
| Verde          | 2 |
| Arancio/Bianco | 3 |
| Blu            | 4 |
| Blu/Bianco     | 5 |
| Arancio        | 6 |
| Marrone/Bianco | 7 |
| Marrone        | 8 |



a

b

Fig. 4a. Colori e nomi dei fili che compongono il TP. b. Il connettore RJ45. b Il connettore RJ45 (Registered Jack, tipo 45). Schema della pedinatura per presa a muro (a sinistra) e connettore (a destra).

Se si vogliono collegare tra loro due dispositivi direttamente (collegamento DTE-DTE), occorre usare un cavo «incrociato» (cross), perché è necessario fare in modo che il dato in uscita (TX) da un dispositivo sia quello ricevuto dall'altro dispositivo (RX) (Figura 5a).

Al contrario, in un collegamento tra un terminale e uno switch o un hub (DTE-DCE) si usano cavi dritti (straight) come mostra la Figura 5b.

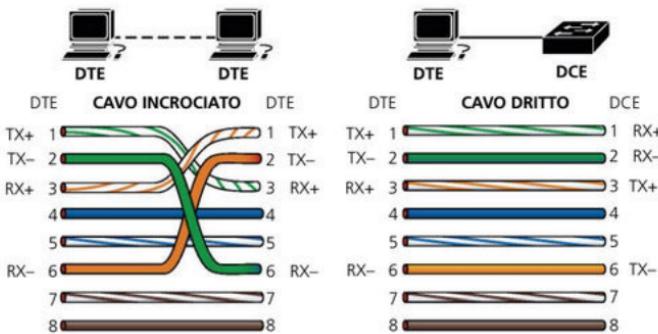


Fig. 5a Un cavo di rete «incrociato» (Crossover Cable) permette di collegare due terminali (DTE) tra loro senza la necessità di un dispositivo intermedio. A una estremità è utilizzata lo standard T568A e all'altra T568B. Il Pin 1 viene incrociato con il Pin 3 e il Pin 2 viene incrociato con il Pin 6.

Fig. 5b Il cavo di rete Ethernet «dritto» (Straight-through Cable) consente di collegare un terminale (DTE) a un dispositivo di rete (DCE). I connettori RJ45 su ciascuna estremità hanno lo stesso pin out e utilizzano cavi dello stesso codice colore. Nella figura si utilizza lo stesso standard 568A alle due estremità, ma non farebbe alcuna differenza se si usasse lo standard 568B alle due estremità.



### ATTIVITÀ 5

#### Studiare il segnale su cavi di rame

Disponibile nell'eBook.



Galleria di immagini  
Cablaggio cavo di rete

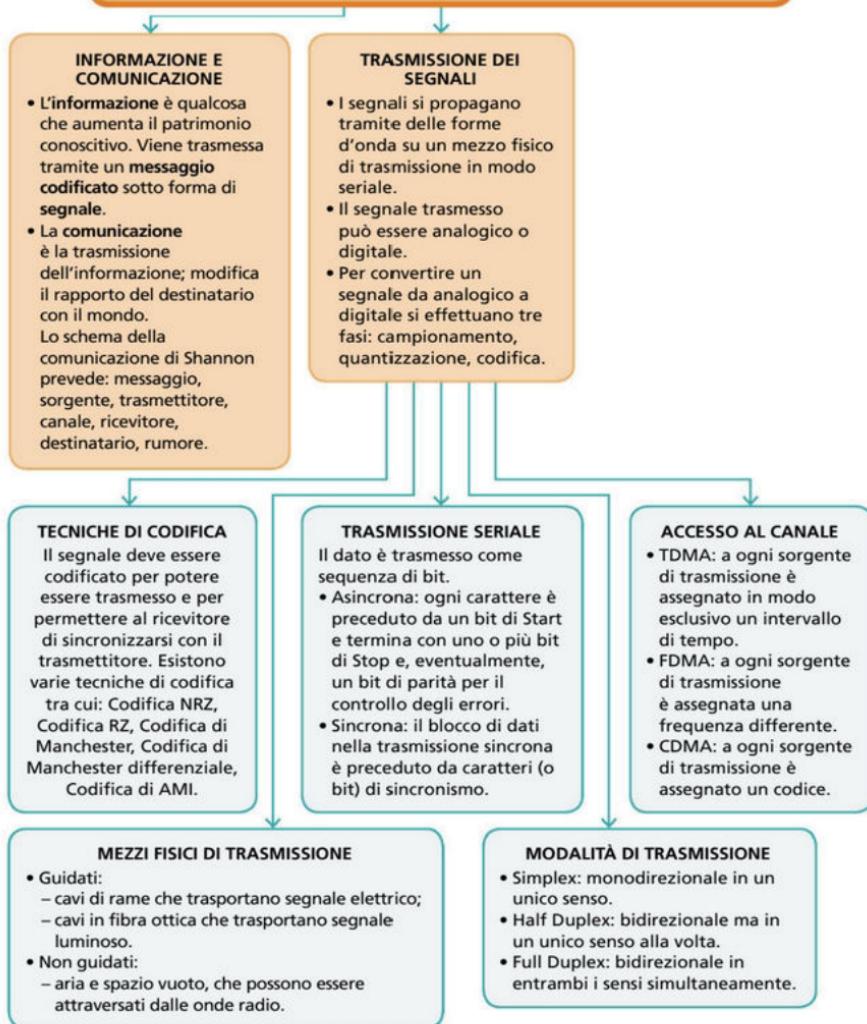


Come si fa?  
Assemblaggio  
di un cavo di rete UTP

**LIVELLO FISICO**

Si occupa dell'invio e della ricezione dei dati sul canale fisico. Comprende:

- gli elementi fisici e le loro caratteristiche meccaniche e funzionali;
- la codifica del segnale digitale.



# Verifica delle CONOSCENZE

Unità 11



## Vero o Falso?

- Affinché ci sia trasmissione di informazione, mittente e destinatario devono essere in possesso dello stesso codice.  V  F
- Informazione è sinonimo di comunicazione.  V  F
- Il mezzo trasmissivo è l'elemento logico che permette il collegamento tra i dispositivi.  V  F
- Il canale è una componente dello schema della comunicazione di Shannon.  V  F
- Il segnale è l'informazione.  V  F
- Il doppino di rame trasporta segnali elettrici.  V  F
- Wireless è un metodo per collegare dispositivi tramite fibra ottica.  V  F

### Nella trasmissione seriale asincrona:

- insieme al segnale dei dati viene trasmesso anche un segnale di clock per sincronizzare trasmittente e ricevente.  V  F
- trasmittente e ricevente devono avere accordi sulla lunghezza del dato.  V  F
- alcuni bit sono ridondanti.  V  F
- il bit di parità è quello dopo il bit di Start.  V  F
- la dimensione del carattere è sempre 7 bit più un eventuale bit di parità.  V  F



## Rispondi ai seguenti quesiti indicando l'unica risposta esatta.

- La banda passante:
  - è l'intervallo tra due tempi
  - è l'intervallo tra due frequenze

- ### Domande per la prova orale
- Perché nelle reti è utilizzata la trasmissione seriale?
  - Quali sono i compiti del livello fisico?
  - Che cosa è un segnale?

- si misura in secondi
- è usata solo per il wireless

### 14 La serie di Fourier:

- è usata per segnali periodici
- è usata solo per segnali digitali
- trasforma dal dominio della frequenza al dominio del tempo
- descrive una perfetta uguaglianza tra un segnale e una somma finita di armoniche

### 15 La modalità di trasmissione full duplex:

- prevede una comunicazione contemporanea nei due sensi
- prevede una comunicazione nei due sensi, ma non contemporanea
- non prevede una comunicazione nei due sensi
- è usata solo in telefonia

### 16 Compito del livello fisico è:

- codificare il segnale
- comunicare il segnale
- interfacciare il livello applicazione
- interpretare l'informazione

### 17 Il doppino in rame:

- trasporta un segnale elettrico
- è immune da interferenze
- consente una trasmissione più veloce della fibra ottica
- è usato nel Wi-Fi

### 18 Un segnale digitale:

- può assumere un insieme infinito di valori
- può essere definito solo nel dominio del tempo
- è meno soggetto a errori
- è sempre ambiguo

### 22 Che cosa è la banda di un segnale?

### 23 Quali sono i principali mezzi trasmissivi e quali sono le loro caratteristiche?

### 24 Che cosa si intende per tecnica di codifica?

- 25 Si vuole inviare il dato 11000101 con trasmissione asincrona, utilizzando un controllo di parità dispari. Dai una rappresentazione grafica della trasmissione in funzione del tempo  $t$  e dello stato logico del segnale.
- 26 Considera una trasmissione seriale asincrona 1200 8 E 2 (1200 velocità di trasmissione, 8 dimensione carattere, E = parità pari, 2 bit di STOP). Si vogliono trasmettere i seguenti dati: 95h, 88h.
- Indica la sequenza di bit (intere trame).
  - Determina il tempo impiegato per effettuare la trasmissione.
- 27 Calcola la massima velocità teorica di trasmissione di simboli binari, su un canale con banda passante di 3100 Hz, senza rumore.
- 28 Completa la tabella.

| Modalità di condivisione del canale | Significato e descrizione |
|-------------------------------------|---------------------------|
| FDMA                                | .....<br>.....            |
| TDMA                                | .....<br>.....            |
| WDMA                                | .....<br>.....            |

29 Considera una rete per collegare due piccole LAN tramite due router. Ogni LAN è dotata di due PC e uno switch. Progetta la rete logica scegliendo dispositivi, apparati e mezzi fisici di trasmissione.

30 Indaga sul collegamento internet di casa tua e rispondi alle seguenti domande.

- Quale mezzo arriva: fibra, rame o sistema radio?
- Quali sono le velocità in download e upload?
- Qual è il nome del tuo internet provider?

31 Indaga la parte interna della rete di casa e rispondi alle domande.

- Quali dispositivi si collegano abitualmente?
- Quali apparati di rete sono presenti?
- Quali mezzi fisici di trasmissione utilizzati in casa e perché?



32 Descrivi tre situazioni in cui è opportuno usare rispettivamente: cavi di rame, fibra ottica, onde radio.



## The Physical Layer

### Abstract

The physical layer is the lower (layer 1) level, near to the physical world. Its goal is to interface the computing system to the communication channel. The physical layer receives the sending data from the layer 2 (Datalink), it properly codes the data and sends the signals according to the physical media.

A signal can be studied in the time domain or in the frequencies domain (Spectrum). The elapsed



time between two events is called *duration* and it is measured in seconds. The interval between two frequencies is called *bandwidth* and it is measured in hertz.

A signal can be transformed from one domain to the other by mathematical operations.

The transmission can be serial or parallel, analogue or digital.

### Questions

#### Answer all questions

- 1 In which domains can we study and represent a signal?
- 2 What are the main optical fibre characteristics?
- 3 What is the meaning of «serial transmission»?
- 4 What are the main differences between analogue and digital signals?

#### Choose the correct answer



- 5 Using the TDMA technique:

- [a] the channel is assigned in turn, exclusively, to different transmitters
- [b] the total channel bandwidth is split in sub-bands
- [c] the channel is shared using optical fibre
- [d] the channel is shared when using wireless transmissions

### Crosswords

#### Across

- 2 Layer that sends data to the physical layer
- 4 Copper cables used to reduce interference
- 6 Transmission protocol for long distance wireless communication
- 7 Unshielded copper cable
- 10 Coding technique

#### Down

- 1 Short-distance wireless data transmission
- 3 Transmission without cables
- 5 One-way data transfer channel
- 8 Method of transmission of multiple signals through a single channel in time-sharing
- 9 He proposed a model of communication

- 6 In synchronous serial transmission:

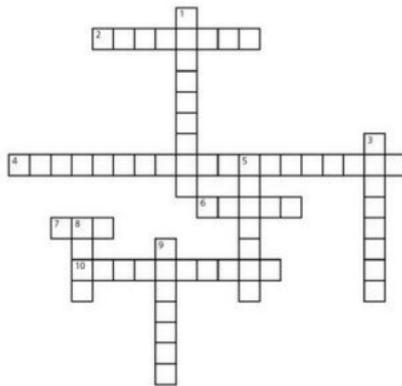
- [a] a start bit and a stop bit are needed
- [b] the data are transferred in parallel
- [c] there can be no error
- [d] there is no need of a start bit or of a stop bit

- 7 The physical layer:

- [a] receives frames from the data link layer
- [b] sends signals to the data link layer
- [c] deals with signal switching
- [d] is active only in LAN networks

- 8 Wireless transmission:

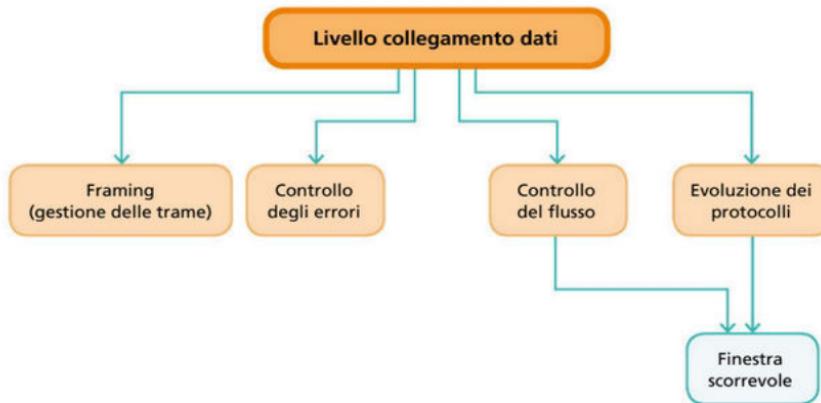
- [a] is used only in LAN networks
- [b] can be used in IoT systems
- [c] uses optical fiber
- [d] uses a copper cable





# Unità 12

## Il Livello Collegamento Dati



### Visione d'insieme

- Il Livello di Collegamento dati delle reti.
- Struttura di una trama.
- Protocolli di Livello Collegamento Dati.

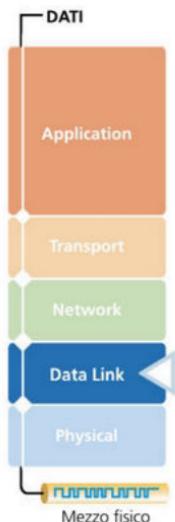


Fig. 1 Il Livello Data Link del modello TCP/IP corrisponde al Data Link (livello 2) della pila ISO/OSI.

## 1 Introduzione

Il **Livello Collegamento Dati** o **Data Link** è il secondo del modello TCP/IP (Figura 1). Offre ai livelli superiori la possibilità di inviare i dati senza preoccuparsi dell'hardware di rete e dei problemi di interfacciamento al mezzo fisico. I protocolli di livello Data Link gestiscono i problemi relativi a dispositivi direttamente collegati, mascherando eventuali errori di trasmissione o perdite di dati.

## 2 Il Livello Data Link e i suoi compiti

Il **Livello Data Link** si occupa di consegnare il messaggio da un nodo della rete a un altro fisicamente collegati (**comunicazione punto-punto**) (Figura 2).

Lato mittente riceve il pacchetto dal Livello Rete, aggiunge un'intestazione e una coda e passa la trama al Livello Fisico.

Lato ricevente riceve i bit dal Livello Fisico, riconosce l'inizio e la fine della trama, legge e rimuove l'intestazione e la coda e passa il pacchetto al Livello Rete. In particolare, il livello Data Link deve garantire:

- il framing, cioè la formattazione dei bit in trame;
- il controllo di flusso, per la sincronizzazione tra trasmettitore e ricevitore;
- la rilevazione di errori di trasmissione e il loro recupero.

I protocolli Data Link hanno il compito di stabilire regole precise che i nodi mittente e destinatario devono concordare e rispettare. La comunicazione tra i nodi segue tre fasi:

- **Apertura.** È la fase iniziale in cui le due stazioni si presentano e si mettono d'accordo con una «stretta di mano» (*handshake*) su come sincronizzare la partenza.
- **Mantenimento.** È la fase in cui la comunicazione è mantenuta con la regolazione del flusso dei dati e, se necessario, la ritrasmissione di trame errate.
- **Chiusura.** Le due stazioni chiudono ordinatamente la trasmissione, «salutandosi cordialmente».

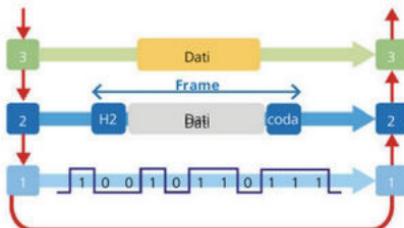


Fig. 2 Il livello 2 riceve i dati dal livello 3 e li imbusta in una trama (frame), aggiungendo un'intestazione (header – H2) e una coda, che servirà come campo di controllo degli errori.

### Pit Stop

- 1 Nel modello TCP/IP a che livello si colloca il Data Link?
- 2 Qual è il ruolo del Data Link?
- 3 Quali sono i principali compiti del Data Link?

## 3 Framing

Il **framing** consiste nella strutturazione del flusso di bit in trame, riconoscendone l'inizio e la fine. Una trama (frame) è costituita da (Figura 3):

1. **l'intestazione (header)**, che contiene le informazioni per far arrivare correttamente i dati al ricevente, tra cui l'**indirizzo** fisico del mittente e del destinatario utilizzati per il trasporto della trama da un nodo all'altro e un **campo di controllo** (numero della trama, tipo di trama inviata, ecc.);

2. un **campo informativo (payload, «carico utile»)**, che contiene l'informazione vera e propria, cioè il pacchetto che arriva dal livello rete;
3. la **coda (trailer)**, che contiene il campo Frame Check Sequence (FCS): bit ridondanti per la rilevazione degli errori di trasmissione. Il calcolo dei bit di ridondanza è effettuato applicando uno degli algoritmi per la rilevazione degli errori.

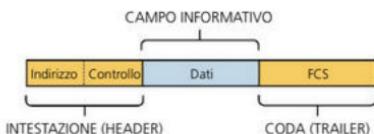


Fig. 3 Una generica trama di Data Link Layer. I bit presenti nella coda sono calcolati utilizzando un algoritmo di rilevazione degli errori, per esempio checksum, polinomi a ridondanza ciclica.

Per riconoscere come è delimitata una trama sono utilizzate diverse tecniche. Le principali sono le seguenti.

#### Conteggio dei caratteri

Viene posto un campo nell'intestazione, che indica di quanti caratteri è costituita la trama.

Questa tecnica non funziona nel caso di un errore di trasmissione che altera il valore del campo; se ciò si verifica, il ricevente perde la sincronizzazione e non può più riconoscere l'inizio e la fine della trama.

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| 51234567898012345687890123 | trasmissione senza errori |
| 51234867898012345687890123 | trasmissione con errore   |

#### Carattere di inizio e fine con stuffing

Viene posto un carattere speciale all'inizio e alla fine della trama (**flag byte**). Se il ricevente perde il sincronismo, aspetta due flag consecutivi, che indicano la fine e l'inizio di una nuova trama.

Se il carattere è parte del messaggio, il mittente inserisce un carattere speciale (**byte di stuffing**) prima di un flag contenuto nei dati e il ricevente rimuove il carattere speciale. Se anche il carattere speciale fa parte dei dati, viene preceduto dallo stesso carattere (Figura 4).



#### notabene

Nella comunicazione Connection Oriented (orientata alla connessione) una connessione viene stabilita prima del trasferimento dei dati per consegnarli nell'ordine corretto.

Nella comunicazione connectionless (senza connessione) un messaggio può essere inviato da un sistema all'altro senza che ci sia stato alcun accordo preliminare

#### Pit Stop

- 4 Da quali parti è costituito un frame?

Fig. 4 Se il flag byte è parte del messaggio viene preceduto da ESC (byte di stuffing). Se anche ESC fa parte dei dati, viene preceduto da un altro ESC.

#### Sequenza di bit di inizio e fine con stuffing

È utilizzato nel caso in cui i caratteri non siano codificati su 8 bit. Ogni trama inizia e termina con la sequenza speciale: 01111110. Per esempio: **01111110 11101001010 0101010101010 01111110**

Se nel messaggio originale sono presenti cinque bit consecutivi con valore 1, viene inserito un bit 0 (stuffing), che verrà rimosso dal ricevente. Per esempio:

messaggio originale: 011011111111111111110010

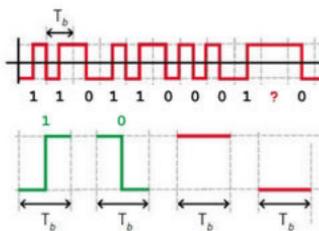
messaggio originale con bit di stuffing: 011011111011111011111010010

### Violazione di codifica

#### notabene

La codifica di Manchester è stata descritta nell'Unità 11.

Quando il codice utilizzato per la codifica del segnale è ridondante, si possono usare degli stati non decodificabili per delimitare la trama. Per esempio, nella codifica di Manchester abbiamo quattro possibili codici in base alla variazione dello stato del segnale a metà del bit time: da 1 a 0 rappresenta 1, da 0 a 1 rappresenta 0; da 0 a 0 e da 1 a 1 (cioè la mancanza della transizione a metà del bit time) non è decodificabile ed è quindi considerata violazione di codifica (**Figura 5**).



◀ Fig. 5 Trasmissione di una trama con la codifica di Manchester: a metà del bit time ( $T_b$ ) c'è una transizione che codifica 1 o 0. L'assenza di transizione costituisce violazione di codifica e segnala la fine della trama.

### Gestione delle trame

L'invio di una trama su un canale di comunicazione è soggetto a disturbi elettromagnetici, che possono alterare i bit e causare errori o perdite di dati. Si possono presentare tre casi:

- **la trama arriva correttamente.** Il ricevitore informa il trasmettitore inviandogli la conferma di «esito positivo» (ACK – Acknowledgement);
- **la trama arriva con errori** rilevati tramite i bit di ridondanza. Il ricevitore invia una trama di «esito negativo» (NACK – Not-Acknowledgment). Il trasmettitore rinvia la trama informativa;
- **la trama non arriva o arriva duplicata.** Quando il trasmettitore invia un frame imposta un timer. Se entro lo scadere del tempo non riceve conferma (ACK) dell'avvenuta ricezione da parte del ricevitore, rinvia il frame, ipotizzando che il primo si sia perso. Potrebbe verificarsi il caso in cui è la conferma a perdersi, in questo caso il messaggio arriva duplicato. Per questo motivo le trame sono numerate, in modo che possa essere ricostruita la corretta sequenza.

## 4 Controllo degli errori di trasmissione

Per gestire gli errori di trasmissione i protocolli del Livello Data Link utilizzano dei **bit di ridondanza** che sono aggiunti alla **fine della trama** (coda).

In base al protocollo utilizzato è possibile:

- **rilevare gli errori:** utilizzando i bit di ridondanza il protocollo rileva che la trama ricevuta è errata, cioè che la sequenza di bit ricevuta è diversa da quella trasmessa. In questo caso deve essere richiesta la ritrasmissione;
- **correggere gli errori:** questi algoritmi non solo rilevano errori di trasmissione, ma sono in grado di individuare la posizione dei bit errati e, di con-

sequenza, di correggerli. Il vantaggio è che si evita la ritrasmissione della trama; lo svantaggio sta nell'aumento di complessità dell'algoritmo, che deve utilizzare un maggior numero di bit di ridondanza.

Di seguito presentiamo i più comuni algoritmi di rilevazione degli errori di trasmissione.

### ■ Controllo di parità

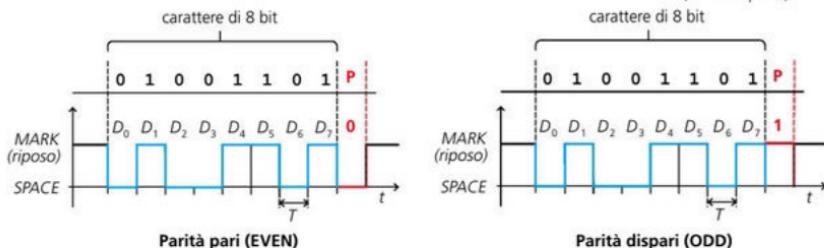
A ogni carattere trasmesso è aggiunto un **bit di parità**, calcolato sul numero di bit a 1 presenti nel carattere.

Ci sono due alternative:

- **parità pari** (even): il numero totale dei bit a 1 che compongono il carattere, compreso quello di parità, deve essere pari;
- **parità dispari**: il numero totale dei bit a 1 deve essere dispari.

È un algoritmo semplice, ma debole, in quanto rileva al più un singolo errore. Per questo motivo è utilizzato solo nelle trasmissioni seriali asincrone a bassa velocità e su brevi distanze.

Per esempio, si veda la **Figura 6**, che applica a un carattere a 8 bit il calcolo della parità pari e dispari.



↓ Fig. 6 Calcolo della parità pari e dispari applicato al carattere «01001101» (P = bit di parità).

Al controllo di parità sul singolo carattere (**controllo a ridondanza verticale**, **VCR**) è possibile associare un controllo sull'insieme dei caratteri trasmessi: il **controllo longitudinale** (**LCR**), detto anche **BCC - Block Check Control**. In questo caso l'algoritmo è in grado anche di correggere l'errore, poiché il ricevitore identifica l'incrocio riga-colonna errato.

### Esempio 1

#### Codici di parità VCR e LCR

La stringa inviata, «CIAO», è codificata in ASCII e risulta:

| Codifica carattere VCR (Parità pari) |                        |                                       |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| C                                    | 0 1 0 0 0 0 1 1        | 1 → bit di controllo per un carattere |
| I                                    | 0 1 0 0 1 0 0 1        | 1                                     |
| A                                    | 0 1 0 0 0 0 0 1        | 0                                     |
| O                                    | 0 1 0 0 1 1 1 1        | 1                                     |
| <b>LCR (BCC)</b>                     | <b>0 0 0 0 0 1 0 0</b> | <b>1</b>                              |

Si può notare come un controllo di «parità pari» corrisponda a un'operazione di XOR logico tra i bit, una tecnica molto sfruttata nella scrittura del software.

### Pit Stop

- 7 Che cos'è il controllo di parità?

### ■ Controllo a somma aritmetica (Checksum)

#### Pit Stop

- 8 Che cos'è il checksum?

Consiste nel sommare il valore binario corrispondente alla codifica ASCII dei caratteri, modulo 256. Lato mittente viene fatto il complemento bit a bit della somma di tutti i caratteri del frame; se c'è un riporto finale, questo è sommato al bit meno significativo. Il risultato è posto nel campo di controllo apposito (se il campo è a 16 bit si sommano parole di 16 bit).

### Esempio 2

#### Lato mittente

Messaggio: 0110011001100000 01010101010101 1000111100001100

Il messaggio viene diviso in parole di 16 bit e ne viene fatta la somma:

$$\begin{array}{r}
 0110011001100000 + \\
 0101010101010101 + \\
 \hline
 1000111100001100 \\
 \boxed{1010010101100001} + \\
 \hline
 0100101011000010 \\
 \textcolor{red}{1011010100111101} \quad \begin{matrix} \text{somma} \\ \text{complemento della somma (checksum)} \end{matrix}
 \end{array}$$

#### Lato ricevente

Il ricevente effettua le stesse operazioni del mittente, sommando i bit del messaggio ricevuto e sottraendo il checksum. Se non ci sono errori il risultato darà tutti bit a 1:

$$\begin{array}{r}
 10110101010011101 + \text{ somma} \\
 \textcolor{red}{01001010101000010} = \text{checksum} \\
 \hline
 1111111111111111
 \end{array}$$

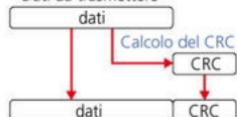
### ■ Controllo a ridondanza ciclica (CRC – Cyclic Redundancy Check)

Consiste nel considerare il messaggio da trasmettere come un polinomio di potenze di 2. Per esempio, il messaggio 1011100101 è associato al polinomio  $2^9 + 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 1$  o, altrimenti scritto,  $x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + 1$ .

Il calcolo del CRC si basa sulle proprietà dell'aritmetica modulo 2, in cui non si hanno riporti, né per somme né per sottrazioni, e quindi somme e sottrazioni sono identiche e possono essere pensate come l'operazione di XOR (OR esclusivo). La divisione in modulo 2 è analoga a quella decimale tradizionale, utilizzando l'operazione di XOR al posto delle sottrazioni. Il polinomio corrispondente al messaggio da trasmettere viene diviso per un **polinomio divisore** (o **polinomio generatore**) noto a entrambe le stazioni collegate in funzione dello standard utilizzato. Il resto della divisione viene inviato dopo i dati, nella coda del frame (trailer) (Figura 7).

#### Trasmissione dei dati con CRC

Dati da trasmettere



Dati trasmessi sul canale del trasmittente comprensivi di CRC

Fig. 7 Dati trasmessi dal trasmittente.

**Pit Stop**

- 9 Come si calcola il CRC?

Il ricevente può effettuare il controllo in due modi: il primo consiste nel dividere tutto il messaggio ricevuto, compreso il resto della divisione, per il polinomio generatore: se il resto della divisione è 0, allora il messaggio è corretto. Il secondo modo consiste nell'eliminare il resto della divisione dai dati ricevuti e dividerlo per il polinomio generatore: se il resto ottenuto è uguale a quello tolto dai dati ricevuti, allora il messaggio è corretto come mostrato in Figura 8.

**Controllo degli errori da parte del ricevente**

Dati pervenuti al ricevente, comprensivi di CRC

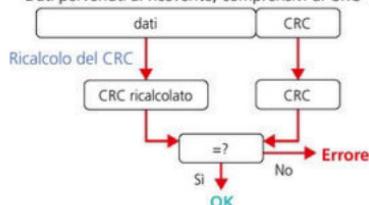


Fig. 8 Dati ricevuti e controllati dal ricevente.

La lunghezza dei polinomi generatori, legata al loro grado, è un fattore importante per la probabilità di individuare gli errori. Alcuni di essi sono stati standardizzati:

|                     |                                                                                                               |                                                             |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| • <b>CRC16:</b>     | $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$                                                                                   | che tradotta in bit è: 1100000000000000101                  |
| • <b>CRC-CCITT:</b> | $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$                                                                                   | che tradotta in bit è: 10001000000100001                    |
| • <b>CRC32:</b>     | $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ | che tradotta in bit è:<br>100000100110000010001110110110111 |

**Esempio 3**

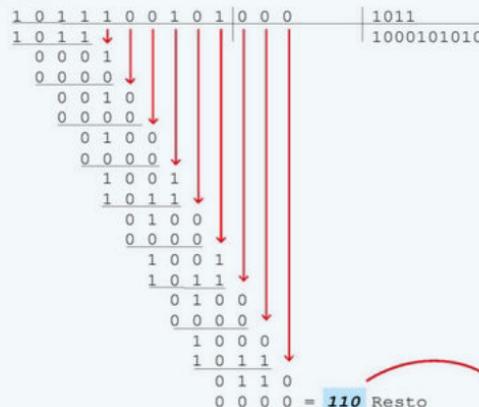
Messaggio da inviare = 1011100101 →  $x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$

Polinomio Generatore = 1011 →  $x^3 + x + 1$

Per effettuare l'operazione si aggiungono al messaggio tanti bit a 0 quanto è il grado del polinomio divisore. Perciò:

Messaggio + 3 bit 0  
= 1011100101000

Si procede alla divisione tra polinomi ricordando che la somma 1+1 è uguale a 0, come per lo XOR. Si trascura il risultato e si considera solo il resto, che viene aggiunto al messaggio e trasmesso al ricevitore:



Messaggio inviato al ricevitore = 1011100101110

## 5 Controllo del flusso

Il **controllo del flusso** consiste nella regolazione delle velocità del flusso dei dati dal trasmettitore al ricevitore. È utilizzato dalla stazione ricevente per informare la sorgente del suo stato ed evitare di essere sommersa dalle trame che le arrivano.

Il ricevitore, con un **meccanismo di retroazione**, è in grado di regolare il flusso dei dati, assicurando che il ritmo con cui il trasmettitore inoltra le trame sul canale non ecceda quello con cui il ricevitore può riceverle ed elaborarle, evitando di mandare in overflow il buffer del ricevitore con la conseguente perdita di dati. È realizzato con due tecniche:

- **ARQ – Automatic Repeat-reQuest**, il trasmettitore deve attendere la conferma di una trama prima di inviare la successiva;
- **finestra scorrevole (sliding window)**, in cui il ricevitore dà il permesso al trasmettitore di inviare dati fino al raggiungimento della capacità massima del buffer di memoria.

La seconda tecnica è la più sofisticata ed è utilizzata, come vedremo, dalla maggior parte dei protocolli del Livello Data Link.

### Comprendi con l'analogia

I servizi del livello Data Link sono resi possibili da un'organizzazione simile a quella del trasporto delle merci

Nel XVIII secolo il villaggio di Lafont, nel sud della Francia, era rinomato in tutta la regione per la lavorazione della porcellana. Mani esperte producevano pregevoli manufatti, ma il loro commercio era reso difficoltoso a causa delle condizioni disastrose della strada che portava in città. I manufatti arrivavano così malridotti da diventare irriconoscibili. I clienti della città non volevano più acquistare le porcellane di Lafont e il villaggio si stava spegnendo. Non potendo costruire una nuova strada per mancanza di fondi, si decise di puntare tutto su una nuova organizzazione per il trasporto delle porcellane.

Furono create due stazioni di controllo: la prima, all'inizio del percorso, che contabilizzava la merce inviata, e la seconda alla fine del percorso che controllava l'integrità del materiale giunto a destinazione. Se al controllo in arrivo le porcellane risultavano danneggiate, venivano scartate e, immediatamente, se ne richiedevano di nuove. Se per sventura, durante il tragitto un carico veniva rubato o perso, la stazione di partenza, non avendo conferma dell'avvenuta ricezione, rinviava la merce.

In questo modo nelle botteghe della città erano esposte sempre le migliori porcellane per i clienti, che esigevano pezzi integri, e non erano interessati a come fossero arrivati sugli scaffali.



## ■ Protocolli per il controllo del flusso con la tecnica ARQ

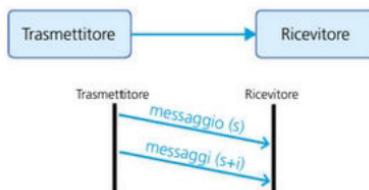
Per capire come i protocolli Data Link implementano il controllo di flusso e la correzione degli errori occorre procedere per gradi partendo dal funzionamento di un protocollo ideale (**Utopia**) a cui man mano aggiungeremo delle ipotesi più restrittive, fino ad arrivare alla struttura di protocolli più realistici (**Stop & Wait** e **Positive Acknowledgement and Retry**) e presenteremo la tecnica della «finestra scorrevole» applicata da quasi tutti i protocolli attuali. Finiremo con un esempio: il protocollo HDLC che, forse, rappresenta il prototipo dei moderni protocolli Data.

### Il protocollo Utopia

Il protocollo **Utopia** appartiene a un **mondo ideale** in cui il trasmettitore può inviare i dati senza limiti di velocità, perché il ricevitore è sempre disponibile a riceverli e a memorizzarli, senza la necessità di confermarne l'arrivo al trasmettitore (Figura 9). Il protocollo Utopia è ad anello aperto, perché non è presente alcuna risposta (feedback) da parte del ricevitore.

#### Utopia

- ✓ i dati sono trasmessi in una sola direzione dal trasmettitore al ricevitore;
- ✓ il rumore è nullo, cioè non ci sono disturbi che possono causare errori di trasmissione;
- ✓ lo spazio di memoria per i dati ricevuti è infinito;
- ✓ trasmettitore e ricevitore sono sempre pronti;
- ✓ il tempo di elaborazione dei dati è nullo;
- ✓ la velocità di trasmissione è la massima possibile.



↑ Fig. 9 Protocollo Utopia: il trasmettitore trasmette e il ricevitore riceve senza errori. Non ci sono vincoli di tempo e memoria.

La **Tavella 1** riporta lo pseudocodice che descrive il comportamento del protocollo Utopia.

### notabene

Nell'opera *Utopia* (1516), Thomas More descrive un'isola immaginaria abitata da una società ideale dove vige la libertà di pensiero e la tolleranza religiosa.

### notabene

L'esempio del protocollo relativo al segnalatore ad acqua presentato nell'Attività 1 del Laboratorio chiarisce le fasi del protocollo.

### Pit Stop

- 10 Quali sono le assunzioni del protocollo Utopia?

|                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Trasmettitore</b> <pre> Trasmetti() {     while(1) { //do forever         d=Prendi _ dalla _ memoria _ il _ dato();         s=Codifica _ messaggio(d);         Invia _ messaggio(s);     } } </pre> | <b>Ricevitore</b> <pre> Ricevi() {     while(1) { //do forever         Aspetta _ arrivo _ frame(r);         Leggi _ messaggio(r);         c=decodifica _ messaggio(r);         memorizza(c);     } } </pre> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

↑ Tab. 1

### Il protocollo Stop & Wait

Il protocollo Stop & Wait rimuove le ipotesi relative al tempo di elaborazione. Il ricevitore necessita di un certo tempo per processare i messaggi e archiviarli, per cui, pur ammettendo che non si verifichino errori nella trasmissione, è comunque necessario che il trasmettitore rispetti il tempo di lavoro del ricevitore, che solo al termine delle sue operazioni invia un messaggio di feedback positivo (**ACK – Positive Acknowledgement**), permettendo al trasmettitore di procedere all'invio di un nuovo messaggio (Figura 10). Il trasmettitore trasmette, il ricevitore riceve e conferma la ricezione. Il trasmettitore ritrasmette dopo aver ricevuto la conferma dal ricevitore (anello chiuso).

#### Pit Stop

- 11 Quali sono le assunzioni del protocollo Stop & Wait?

- ✓ i dati sono trasmessi in una sola direzione dal trasmettitore al ricevitore;
- ✓ il rumore è nullo, cioè non ci sono disturbi che possono causare errori di trasmissione;
- ✓ lo spazio di memoria per i dati ricevuti è infinito;
- ✗ trasmettitore e ricevitore sono sempre pronti;
- ✗ il tempo di elaborazione dei dati è nullo;
- ✗ la velocità di trasmissione è la massima possibile.

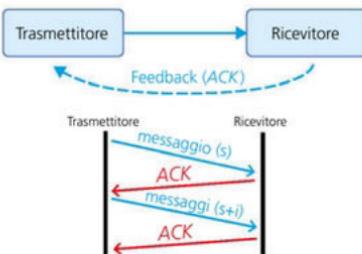


Fig. 10 Protocollo Stop & Wait.

La Tabella 2 riporta lo pseudocodice che descrive il comportamento del protocollo Stop & Wait.

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trasmettitore | <pre> Trasmetti() {     while(1) { //do forever         d=Prendi_dalla_memoria_il_dato() ;         s=Crea_messaggio(d) ;         Invia_messaggio(s) ;         Aspetta(risp) ;     } }  Ricevi() {     while(1) { //do forever         Leggi_messaggio(r) ;         c=decodifica_messaggio(r) ;         memorizza(c) ;         risp=ACK ; //risposta positiva         Invia(risp) ;     } } </pre> |
| Ricevitore    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Tab. 2

### Il protocollo PAR con disturbi sul canale

Il protocollo **PAR** (*Positive Acknowledgement and Retry*) toglie ulteriori ipotesi e tratta, finalmente, un caso reale, perché presuppone che il canale possa essere disturbato e causare errori ai dati che lo attraversano. Il ricevitore analizza l'integrità della trama e, in base al risultato, invia due diversi messaggi di risposta al trasmettitore (Figura 11).

Il trasmittitore, dopo l'invio dei dati, si aspetta di ricevere una conferma positiva (ACK), una risposta negativa (NACK) oppure nessuna risposta:

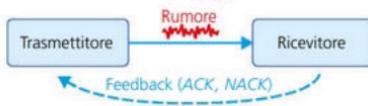
- **ACK** (Positive Acknowledgement): il ricevitore conferma di aver ricevuto senza errori i dati e di averli memorizzati;
- **NACK (Not Acknowledgement)**: il ricevitore notifica di aver ricevuto i dati, ma di aver riscontrato errori;
- **TIME OUT**: quando il trasmittitore invia un frame, impone un timer (timer lato mittente); se entro lo scadere del tempo non riceve conferma (ACK) dell'avvenuta ricezione da parte del ricevitore, rinvia il frame, ipotizzando che il primo si sia perso.

#### PAR

- ✓ i dati sono trasmessi in una sola direzione dal trasmittitore al ricevitore;
- ✗ il rumore è nullo, cioè non ci sono disturbi che possono causare errori di trasmissione;
- ✗ lo spazio di memoria per i dati ricevuti è infinito;
- ✗ trasmittore e ricevitore sono sempre pronti;
- ✗ il tempo di elaborazione dei dati è nullo;
- ✗ la velocità di trasmissione è la massima possibile.

La Tabella 3 riporta lo pseudocodice che descrive il comportamento del protocollo PAR.

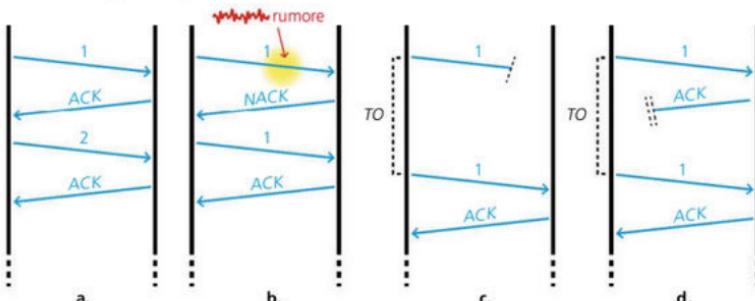
↓ Fig. 11 Protocollo PAR.  
Il trasmittitore trasmette, il ricevitore riceve e rinvia un messaggio di conferma positiva nel caso in cui tutto sia andato bene, negativa nel caso in cui si sia rilevato un errore.



↓ Tab. 3

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre> Trasmetti() {     while(1) {         while(1) { //do forever             d=Prendi_dalla_memoria_il_dato() ;             s=Crea_messaggio(d) ;             Invia_messaggio(s) ;             Aspetta(risp) ;             Switch(risp)             {                 case ACK: s=s+1; break; //passa al prossimo messaggio                 case NACK: s=s; break; //rinvia lo stesso messaggio                 case TO: s=s; break; // rinvia lo stesso messaggio                 oppure manda un "sollecito"             }         }     } } </pre> | <pre> Ricevi() {     while(1) {         Leggi_messaggio(r) ;         controllo=controlla_messaggio(r) ;         if (controllo==OK ) //senza errori         {             c=decodifica_messaggio(r) ;             Memorizza(c) ;             risp=ACK ;         }         else //errore in trama!(messaggio scartato)         {             risp=NACK ;             Invia(risp) ;         }     } } </pre> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Nel caso di mancata risposta dal ricevitore, il trasmettitore rimanderà il messaggio. Per questo motivo le trame sono numerate (**Figura 12**).



↑ **Fig. 12** a Trasmissione senza errori. b Trasmissione con rumore nella trama 1: errore dal ricevitore e ritrasmissione. c Trama 1 inviata, ma non arrivata al ricevitore (Time Out di ritrasmissione). d Risposta di conferma della trama 1 non pervenuta al trasmettitore: sollecito (o rinvio della trama solo se numerata, altrimenti c'è il rischio di duplicazione).

### ■ Protocolli per il controllo del flusso con finestra scorrevole

Questa tecnica per il controllo di flusso prevede che mittente e ricevente utilizzino una **finestra** che è un'area di memoria di dimensione fissa, che contiene i numeri di sequenza di determinate trame.

Il **numero di sequenza** identifica una trama e deve essere compreso tra 0 e  $2^n - 1$ , dove  $n$  è il numero di bit disponibili per esprimere il numero di sequenza. Per esempio, se  $n = 3$ , il numero di sequenza è compreso tra 0 e 7 (000 e 111, in binario). I numeri sono modulo 8, cioè il frame successivo a 7 è 0 (a 111 segue 000, in binario).

Il funzionamento del protocollo è il seguente:

- **finestra lato mittente**: contiene i numeri di sequenza delle trame che devono essere trasmesse, oppure che sono state trasmesse, ma non ancora confermate. Quando il Data Link riceve un pacchetto dati dal Livello Rete, inserisce il numero di sequenza nella finestra e, quando arriva la conferma di corretta ricezione (ACK) da parte del destinatario, elimina il numero dalla finestra. Se la finestra è piena, il trasmettitore deve aspettare a trasmettere nuove trame e attendere che si liberi spazio.

Per esempio (**Figura 13**):

- $N$  è il numero di trame trasmesse;
- $K$  il numero di trame confermate;
- la differenza tra il numero delle trame trasmesse e di quelle confermate ( $N - K$ ) deve sempre essere inferiore o uguale all'ampiezza ( $W$ ) della finestra del mittente;
- la conferma che arriva dal ricevitore fa scorrere la finestra verso destra, liberando il trasmettitore e dandogli la possibilità di trasmettere nuove trame e far proseguire la comunicazione;

→ **Fig. 13** Rappresentazione grafica della tecnica della finestra scorrevole.



- **finestra lato ricevente**: contiene i numeri di sequenza delle trame che il ricevitore si aspetta di ricevere. Se arriva una trama con numero di sequenza non compreso nella finestra, essa viene scartata e non viene confermata; se invece il numero è presente, la trama viene confermata. Se una trama

viene scartata, crea un «buco» nella sequenza. La consegna al Livello Rete è comunque effettuata quando la sequenza sarà completa. Le trame accettate producono la conferma al trasmettitore (ACK) e l'avanzamento della finestra del ricevitore.

La ritrasmissione di una trama, arrivata errata o non arrivata, è gestita utilizzando le tecniche previste per l'**error recovery** (recupero degli errori):

- **Go Back n:** a partire dalla trama errata o mancante vengono rinviate tutte le trame, anche se sono già state ricevute correttamente. Il ricevente accetta e conferma i frame che arrivano corretti con numero di sequenza atteso (progressivo). Dopo il primo frame errato o non atteso, non accetta altri frame e continua a rinviare conferma dell'ultimo frame corretto ricevuto;
- **Selective Repeat:** viene rinvia solo la trama errata o mancante. Il ricevente accetta e conferma tutti i frame che arrivano corretti, anche dopo un eventuale frame errato, mantenendo nella finestra i loro numeri di sequenza. Al mittente viene inviata conferma dell'ultimo frame corretto prima di quello errato, in modo che il mittente sappia quale trama deve ritrasmettere. Quando il frame mancante arriverà corretto, il ricevente completerà la sequenza, la passerà al livello rete, libererà la finestra e confermerà l'ultimo frame corretto dell'intera sequenza.

### notabene

La finestre del trasmettitore e del ricevitore possono avere dimensione diversa o variabile nel tempo (una finestra di valore 1 riconduce al caso del protocollo Stop & Wait - ARQ).

## Comprendi con l'analogia

Le tecniche del controllo di flusso sono simili a quelle utilizzate da Ale e Theo per scaricare a mano un camion pieno di sacchi di farina

Ale e Theo sono due soci che lavorano in coppia. Oggi devono scaricare un camion pieno di sacchi di farina da 20 kg.

Ale si trova sul pianale del camion e comincia a gettare dall'alto il primo sacco. Theo, che sta sotto, lo prende al volo e lo deposita a terra. Per un po' le cose procedono in modo sincronizzato: Ale manda, Theo riceve.

A un certo punto Ale si ferma a bere un sorso di acqua tonica. Theo, mentre aspetta il sacco, tira un sospiro di sollievo. Ma l'acqua è veramente «tonica», e Ale, rianimato, scarica ora i sacchetti a un ritmo molto elevato.



### Scenario 1 (anello aperto)

Theo fa fatica a stare al passo con Ale e, dopo un po', si ritrova sommerso dai sacchetti che si sono rotti, disperdendo la farina. Il risultato ottenuto non è certo quello atteso.

### Scenario 2 (anello chiuso con controllo di flusso)

Theo, non riuscendo a mantenere il ritmo imposto da Ale, decide di lanciare all'amico un fischio per fermarlo. Ale si accorge della richiesta e si blocca.

Qualche istante dopo Theo manda un altro fischio e Ale riparte con il lavoro.

Alla fine della giornata non è andato perso neppure un grammo di farina e la sera i due amici, a buon diritto, possono festeggiare un altro incarico portato a termine brillantemente.

### Scenario 3 (anello chiuso con disturbi sul canale)

Theo è veloce quanto Ale e procede al suo ritmo. Un vento impetuoso si è però alzato a disturbare le operazioni. Ale, con la polvere che gli entra negli occhi, non vede bene dove sta lanciando i sacchetti. Theo non riesce ad agganciare un sacco, che cade e si rompe.

Ale ha sempre qualche sacco di scorta che può lanciare a Theo.

Alla fine della giornata i due soci scoprono di avere esaurito le scorte di sacchetti, e alla sera si devono accontentare di aver dignitosamente portato a termine l'incarico.

## 6 Un esempio di protocollo Data Link: HDLC

### ■ notabene

Un collegamento punto-punto è un collegamento diretto tra due dispositivi. Un collegamento multipunto permette di collegare un dispositivo a un canale condiviso a cui sono collegati diversi dispositivi.

Ci sono vari protocolli che implementano i compiti del livello Data Link, tra cui il protocollo **PPP** (*Point-to-Point Protocol*) utilizzato per il collegamento alla rete Internet, i protocolli definiti dagli standard **IEEE 802** (per esempio Wi-Fi e Ethernet) per le reti locali, il protocollo **HDLC** (*High-Level Data Link Control*) definito da standard ISO e ampiamente utilizzato come riferimento per molti protocolli di collegamento dati che utilizzano lo stesso suo formato e gli stessi meccanismi.

I protocolli possono essere di due tipologie:

- Protocolli orientati al bit (bit-oriented protocol), che trasmettono i dati come un flusso di bit. I codici di controllo sono costituiti da sequenze di bit. Un ottetto è l'insieme di 8 bit.
- Protocolli orientati al byte (byte-oriented protocol) che trasmettono i dati come stringhe di caratteri. Ogni carattere è preceduto da un bit di start e seguito da un bit di stop. I codici di controllo sono rappresentati da caratteri.

A titolo di esempio mostriamo le principali caratteristiche di HDLC.

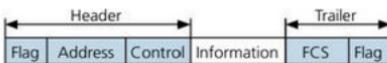
Il protocollo HDLC è un protocollo orientato al bit, progettato per collegamenti tra due o più stazioni:

- per il framing utilizza la sequenza di bit con **bit di stuffing** (01111110); per il controllo del flusso utilizza la **tecnica a finestra scorrevole** (numeri di sequenza da 0 a 7);
- può effettuare error recovery in modalità sia **Go Back n** sia **Selective Repeat**;
- ha due modalità operative: per il collegamento punto-punto (**modalità bilanciata**), e per il collegamento multipunto (**modalità non bilanciata**).

### Formato delle trame

Una trama HDLC è delimitata dalla sequenza di bit 01111110 per identificarne l'inizio e la fine. La struttura di una trama è la seguente (Figura 14):

- un **header (intestazione)** che comprende:
  - un campo con l'indirizzo (**Address**) della stazione remota;
  - un campo di controllo (**Control**) che serve a identificare il tipo di trama inviata e a controllare il flusso dei dati;
- un **campo informativo (Information)**, a lunghezza variabile, che contiene i dati;
- una **coda (Trailer)**, in cui è presente il campo **FCS (Frame Check Sequence)**, che sfruttando la tecnica del controllo a ridondanza ciclica (CRC) è utilizzato per la correzione degli errori.



← Fig. 14 Trama (frame) del protocollo HDLC di livello 2: si distinguono header, campo informativo e trailer.

Concentriamoci sul campo *Control*, che è di fondamentale importanza perché definisce i tipi di trama e permette di numerare le trame inviate e quelle che ci si aspetta di ricevere per poter ritrasmettere le trame giunte errate e di controllare il flusso trasmisivo.

In riferimento ai nostri obiettivi, ci limiteremo a segnalare due tipi di trame: quelle **Informative** (I) e quelle di **Supervisione**, identificate da alcuni bit presenti nel campo *Control*.

### ■ Pit Stop

12 Quali sono i componenti principali della trama del protocollo HDLC?

- Trame **Informative** (I, Information). Sono le trame che contengono i dati effettivi. In questo tipo di trame, il campo *Control* contiene due sottocampi che identificano il numero sequenziale associato a ogni trama che viene inviata:
  - il contatore  $N(s)$ , che usa tre bit per identificare il numero sequenziale (modulo 8) della trama inviata ( $s = \text{send}$ );
  - il contatore  $N(r)$ , che contiene, invece, il numero (modulo 8) della trama che la stazione si aspetta di ricevere.
- Trame di **Supervisione** (Supervisor). Vengono utilizzate per trasportare informazioni di controllo come per esempio segnalare la corretta ricezione della trama o la presenza in essa di errori. Non prevedono la presenza di dati e contengono il solo sottocampo  $N(r)$ , che funge anche da riconoscimento positivo (ACK) per tutte le trame con numero di sequenza minore di  $N(r)$ .

Sono previsti quattro tipi di trame di supervisione:

- **RR** (*Receiver Ready*), trama di conferma positiva (ACK);
- **RNR** (*Receiver Not Ready*), trama per controllare il flusso;
- **REJ** (*REject*), trama/e rifiutata/e;
- **SREJ** (*Selective REject*), singola trama rifiutata in modo selettivo (*Selective Repeat*).

L'esempio in **Figura 15** chiarisce meglio come funziona il protocollo. La **Figura 16** illustra il significato che nel disegno viene dato ai campi di protocollo usati.



↔ Fig. 15 La stazione A invia tre trame Informative (I).

a La prima (**I 0,0**) sta a indicare che dalla stazione A viene inviata la trama di dati che possiede numero di sequenza  $N(s) = 0$  e che ci si aspetta di ricevere dalla stazione B e il numero di trama 0 ( $N(r) = 0$ ). b La seconda (**I 1,0**) significa che la stazione A invia la trama numero 1, aspettandosi la trama 0 (non avendo ancora ricevuto nulla da B). c Nella terza trama (**I 2,0**) la stazione A invia la trama numero 2. d Finalmente la stazione B si decide a rispondere positivamente alla stazione A, inviando la trama di supervisione **RR** con  $N(r) = 3$ , cioè confermando implicitamente di aver ricevuto la trama numero 2, aspettandosi la numero 3. e La stazione A, ricevuta conferma da B, procede con l'invio della trama successiva (**I 3,0**).



↔ Fig. 16

### Approfondimento

- Protocollo XMODEM
  - Protocollo BSC
  - Protocollo HDLC
  - Protocollo PPP
  - Controllo del protocollo PPP utilizzato per il collegamento ADSL del router di casa



### Galleria

Connessione a ADSL tramite PPP

# Laboratorio

## ATTIVITÀ 1

### Progettare il diagramma di sequenza del protocollo di un «Segnalatore ad acqua»

#### Scenario

Fin dall'antichità si sono realizzati metodi ingegnosi per trasmettere informazioni a distanza. Il segnalatore ottico ad acqua è uno di questi (Figura 1).

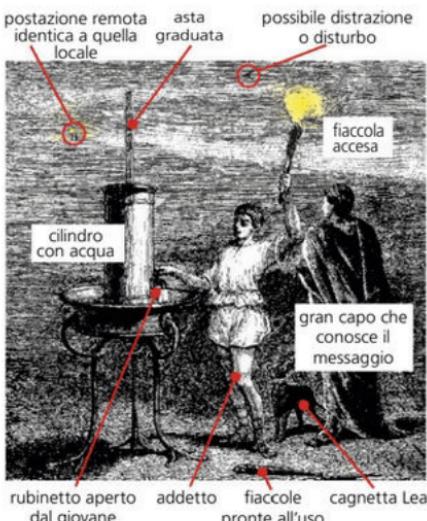


Fig. 1 Il segnalatore ottico ad acqua in una stampa del XIX sec. (Grecia, IV sec. a.C.).

Il meccanismo di segnalazione è costituito da un serbatoio cilindrico, riempito d'acqua, e da un'asta graduata che poggia su un galleggiante.

Un sorvegliante (Basilio) indica al giovane addetto (Bemus), quando è il momento di aprire il rubinetto e, contemporaneamente, di alzare la torcia. Quando il giovane apre il rubinetto, l'acqua fuoriesce nel catino e l'asta si abbassa. Nel momento in cui il sorvegliante decide che l'asta graduata ha raggiunto la tacco che corrisponde al codice del messaggio che vuole inviare, ordina al giovinetto di chiudere il rubinetto e abbassare la torcia.

Sulla cima della collina è presente un sistema del tutto simile con una giovane (Adriana) che apre e chiude il rubinetto di conserva con la fiaccola che si accende e si spegne nella valle. Legge la tacca segnata sull'asta e ne fornisce il valore alla sorvegliante (Alessandra) che decodifica il codice e interpreta il messaggio.

Nel caso sfortunato in cui Adriana venga distratta da disturbi naturali, come la presenza di nebbia o un passaggio di animali, e non riesca a sincronizzarsi con Bemus, interviene la cagnetta Lea che, partendo dalla valle, sollecita Bemus a riprendere la comunicazione.

#### Consegna

Progettare il diagramma di sequenza del protocollo di comunicazione tra le due stazioni che utilizzano un «segnalatore ad acqua» per scambiarsi informazioni a distanza.

## Svolgimento

Costruzione del diagramma di sequenza del protocollo tra le due stazioni.

La costruzione del diagramma (Figura 2) prevede, per entrambe le stazioni, le fasi tipiche di sviluppo del protocollo:

- **apertura** per la sincronizzazione delle due stazioni;
- **mantenimento** per il trasferimento dell'informazione;
- **chiusura** per il rilascio ordinato della sessione.

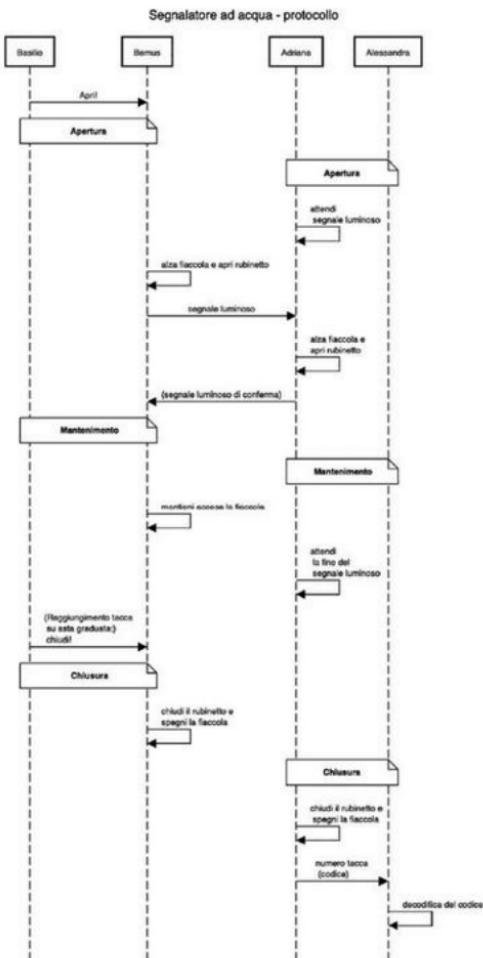


Fig. 2. Diagramma temporale del protocollo capace di sincronizzare trasmittitore e ricevitore.

**ATTIVITÀ 2****Analizzare un esempio d'uso della «finestra scorrevole» di trasmissione nel protocollo HDLC****Scenario**

L'esempio che segue mostra uno scambio di dati tra la stazione A e la stazione B ([Figura 3](#)).

- La finestra di trasmissione, sia per A sia per B, ha valore 3, cioè A e B potrebbero inviare fino a 3 trame senza ottenere conferma dal ricevitore, dopodiché devono fermarsi per aspettare che il ricevitore confermi una o più trame riaprendo la finestra. Solo allora il trasmettitore può riprendere a trasmettere.
- La bidirezionalità del canale permette di inviare il riconoscimento positivo di una trama (ACK) insieme a un messaggio che viaggia in senso inverso (chiamato *piggybacking*, letteralmente «che si mette a cavalcioni»).

**Consegna**

Analizzare la finestra scorrevole di trasmissione per l'invio di trame informative nel protocollo HDLC.

**Svolgimento**

I passi che seguono mostrano, istante per istante, lo stato di riempimento della **finestra di trasmissione** per la «Stazione A» e la «Stazione B».

**A1** A invia a B, in successione, tre trame informative (*I*). La prima possiede un valore  $N(s) = 0$  e un valore  $N(r) = 0$  (perché si aspetta di ricevere la prima trama il cui valore è 0). Le due successive trame incrementano il valore di  $N(s)$ , ma non quello di  $N(r)$ , poiché nessuna trama è ancora giunta da B. A ogni trama inviata la finestra di trasmissione si chiude di uno.

**B1** B è in fase di attesa. La sua finestra di trasmissione è inizializzata a 3.

**A2** La finestra di A è chiusa e non possono essere inviate altre trame. A è in attesa che B confermi le trame inviate.

**B2** B invia una trama *I* ad A, confermando implicitamente le 3 trame ricevute ( $N(r) = 3$ ). La finestra di B si chiude di uno, avendo inviato una trama dati.

**A3** A riceve conferma da B di tutte e tre le trame trasmesse e riapre completamente la finestra.

**A4** A invia a B la quarta trama ( $N(s) = 3$ ) e si aspetta di ricevere la trama 1 ( $N(r) = 0$ ). La finestra di A si chiude di uno.

**B3** B ottiene conferma della trama inviata e riapre di uno la finestra. Inoltre segnala ad A di non essere temporaneamente interessata a ricevere altre trame.

**A5** A congela la propria situazione in attesa dell'arrivo di un invito a procedere nuovamente da parte di B.

**B4** B conferma, implicitamente, di aver ricevuto la trama numero 3, aspettandosi la 4 (RR con  $N(r) = 4$ ).

**A6** A riapre di uno la finestra di trasmissione.

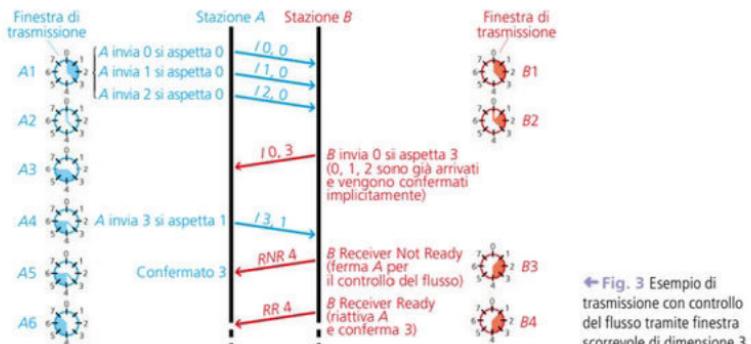


Fig. 3 Esempio di trasmissione con controllo del flusso tramite finestra scorrevole di dimensione 3.

## ATTIVITÀ 3

### Esaminare casi tipici di funzionamento del protocollo HDLC

#### Scenario

Tutti gli esempi mostrano dei casi in cui l'ampiezza della finestra di trasmissione è 3 e riguardano:

- il riconoscimento positivo di frame tramite RR o con conferma implicita in una trama informativa;
- il rifiuto di una trama errata tramite REJ;
- la ritrasmissione delle trame per la scadenza del tempo di attesa del trasmettitore (Time Out).

#### Consegna

Esaminare esempi significativi della trasmissione di trame nel protocollo HDLC.

#### Svolgimento

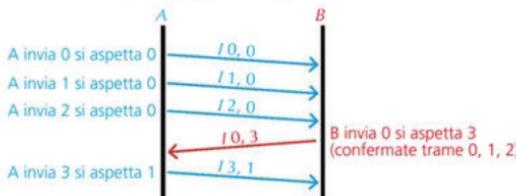
##### Invio trame con conferma positiva (RR)



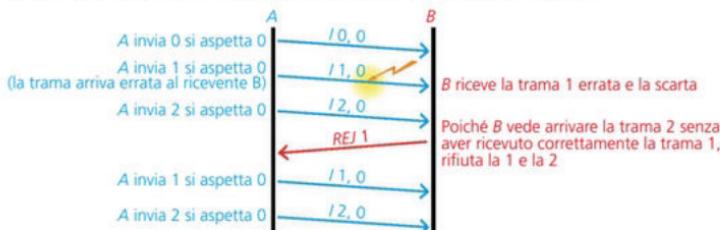
1. A invia a B una trama informativa (*I*) che possiede un valore  $N(s) = 0$  (perché è la prima che invia) e  $N(r) = 0$  (perché si aspetta di ricevere la prima trama il cui valore è 0).
2. A invia a B una seconda trama informativa (*I*) che possiede un valore  $N(s) = 1$  e  $N(r) = 0$  (infatti A non ha ancora ricevuto trame da B e si aspetta ancora la prima trama).
3. A invia a B una terza trama informativa (*I*) che possiede un valore  $N(s) = 2$  e  $N(r) = 0$  (infatti A non ha ancora ricevuto trame da B e si aspetta ancora la prima trama).
4. B, con il comando di supervisione RR, segnala ad A che si aspetta la trama numero 3, confermando implicitamente di aver ricevuto correttamente le trame 0, 1 e 2.

5. A, assicurato della ricezione delle trame precedenti, invia a B una quarta trama informativa (I) che possiede un valore  $N(s) = 3$  e  $N(r) = 0$  (infatti A non ha ancora ricevuto trame da B e si aspetta ancora la prima trama).

#### Invio trame con conferma implicita dei dati trasmessi per mezzo di una trama informativa (con piggybacking)



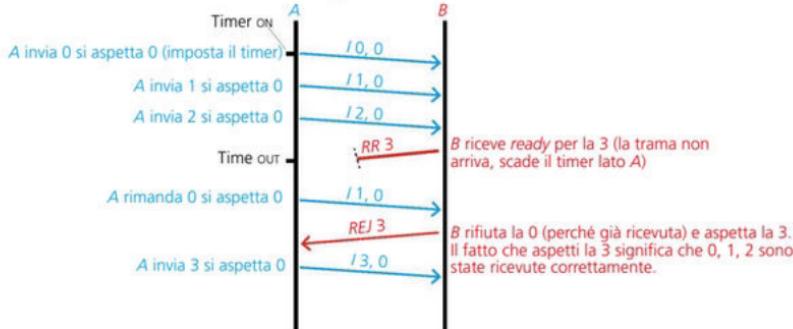
#### Invio trame con errore in trasmissione: conferma negativa (REJ)



Il metodo di **error recovery** utilizzato in questo esempio è chiamato **go back n**: se manca una trama, viene chiesta la ritrasmissione di tutte le trame che la seguono, anche se sono state ricevute correttamente.

In alternativa è possibile utilizzare il metodo **Selective Repeat** (comando SREJ) in cui, se manca una trama e le successive  $n$  sono inviate e ricevute correttamente, il ricevente bufferizza le trame ricevute e chiede la ritrasmissione solo della trama mancante (o errata). Il numero  $n$  dipende dalla dimensione della finestra.

#### Invio trame con ritrasmissione per Time Out



### LIVELLO COLLEGAMENTO DATI

Il Livello Data Link si occupa di consegnare il messaggio da un nodo della rete a un altro fisicamente collegato. I suoi compiti principali sono:

- apertura, mantenimento e chiusura della comunicazione tra due stazioni;
- framing;
- controllo degli errori;
- controllo del flusso.

#### FRAMING (GESTIONE DELLE TRAME)

Il framing consiste nella strutturazione del flusso di bit in frame, riconoscendone l'inizio e la fine. Un frame (trama) è costituito da un'intestazione, un campo informativo, una coda (trailer).

Alcune tecniche utilizzate per il framing:  
• conteggio dei caratteri;

- carattere di inizio e fine con stuffing;
- sequenza di bit di inizio e fine con stuffing;
- violazione di codifica.

#### CONTROLLO DEGLI ERRORI

Utilizzando i bit di ridondanza aggiunti in coda alla trama, il ricevitore può rilevare ed, eventualmente, correggere gli errori di trasmissione.

Alcuni algoritmi di rilevazione degli errori:

- controllo di parità;
- checksum;
- controllo a ridondanza ciclica.

#### CONTROLLO DEL FLUSSO

Regola le velocità di trasmettitore e ricevitore per evitare che il ricevitore sia sommerso dalle trame che gli arrivano.

È realizzato con due tecniche:

- ARQ (Automatic Repeat-reQuest): il trasmettitore deve attendere la conferma di una trama prima di inviare la successiva;
- finestra scorrevole (sliding window), in cui il ricevitore dà il permesso al trasmettitore di inviare dati finché il suo buffer di ricezione non è pieno.

#### EVOLUZIONE DEI PROTOCOLLI

- Protocollo Utopia (condizioni ideali): i dati sono trasmessi in una sola direzione, non ci sono errori di trasmissione, il tempo di elaborazione dei dati è nullo, lo spazio di memoria è infinito.
- Protocollo Stop & Wait: il tempo di elaborazione dei dati non è nullo. Il trasmettitore trasmette, il ricevitore riceve e conferma la ricezione. Il trasmettitore ritrasmette dopo aver ricevuto la conferma dal ricevitore.
- Protocollo PAR: possono esserci errori di trasmissione. Il trasmettitore trasmette, il ricevitore riceve e rinvia un messaggio di conferma positiva nel caso in cui tutto sia andato bene, negativa nel caso in cui si sia rilevato un errore.

#### FINESTRA SCORREVOLE

- Protocolli utilizzati per effettuare il controllo del flusso. Sono completi e quindi complessi e funzionano anche in full duplex.
- Mittente e ricevente utilizzano una finestra:
  - la finestra lato mittente contiene i numeri di sequenza dei frame che devono essere trasmessi o confermati;
  - la finestra lato ricevente contiene i numeri di sequenza dei frame che il ricevitore si aspetta di ricevere.
- Le tecniche di error recovery sono: Go Back n, Selective Repeat.



### Vero o Falso?

- 1 Il controllo del flusso è un metodo per rilevare il flusso di errori di trasmissione.   F
- 2 I polinomi generatori sono utili per generare un segnale elettrico.   F
- 3 La finestra scorrevole implementa il controllo del flusso.   F
- 4 Il protocollo Stop & Wait prevede una conferma.   F
- 5 Go back n è un metodo di error recovery.   F
- 6 Il protocollo PPP è utilizzato per il collegamento a Internet.   F
- 7 ACK indica « ricezione corretta ».   F
- 8 NACK è utilizzato solo quando si perde una trama.   F
- 9 Il controllo degli errori è un compito del livello fisico.   F
- 10 Il checksum vale 1 se il numero di 1 è dispari.   F
- 11 Il checksum è un protocollo di comunicazione.   F
- 12 Il frame ha un'intestazione e una coda.   F



### Rispondi ai seguenti quesiti indicando l'unica risposta esatta.

- 13 Il controllo del flusso:  
a. è risolto con la tecnica della finestra scorrevole  
b. risolve il problema di un eccesso di errori di trasmissione

### Domande per la prova orale

- 18 Quali sono i compiti del livello di Collegamento Dati?
- 19 In che cosa consiste la tecnica della finestra scorrevole e perché è così importante?
- 20 Come si effettua la rilevazione degli errori?
- 21 Considera i protocolli di livello data link. Quali problemi risolvono rispettivamente l'utilizzo del timer (mittente) e del numero di sequenza?
- 22 Considera il protocollo Utopia.  
a. Scrivi una pseudocodifica per la descrizione del protocollo.  
b. Quali sono le condizioni ideali su cui è basato?
- 23 I protocolli PAR (Positive Acknowledgement and Retry) prevedono che il mittente attenda

- controlla il numero di bit a 1  
 dipende dalla codifica del segnale

- 14 Il timer lato mittente:  
a. è utile per recuperare messaggi persi  
b. è utile per recuperare errori di trasmissione  
c. contiene i numeri di sequenza dei frame non confermati  
d. contiene i numeri di sequenza dei frame doppi
- 15 Il numero di sequenza:  
a. è un dato posto nella coda del frame  
b. è un dato utile per la correzione degli errori di trasmissione  
c. è un dato di 8 bit  
d. nessuna delle precedenti risposte è vera
- 16 La finestra del ricevitore:  
a. contiene i numeri delle trame trasmesse ma non ancora confermate  
b. contiene i numeri delle trame che il ricevitore si aspetta di ricevere  
c. ha la stessa dimensione della finestra del trasmettitore  
d. è utilizzata nel protocollo Stop & Wait
- 17 Il controllo di parità:  
a. rileva al più un errore di trasmissione  
b. rileva e corregge un singolo errore di trasmissione  
c. rileva un numero pari di errori di trasmissione  
d. utilizza un polinomio generatore

una risposta dal destinatario prima di spedire un ulteriore messaggio.

- a. Quali sono i due tipi di problemi che si possono verificare?  
b. Scrivi una pseudocodifica per la descrizione di un protocollo PAR.  
c. Che cosa significa Error Recovery?
- 24 Descrivi l'intestazione del segmento HDLC (fai una tabella con le seguenti colonne: Campo, Lunghezza, Uso/Significato).
- 25 Perché, secondo te, questo protocollo si chiama «Utopia»?  
Quali ipotesi vengono rilasciate, man mano, per il funzionamento dei protocolli Stop & Wait, PAR e a finestra scorrevole?

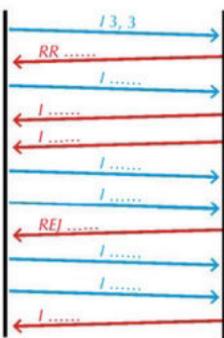
- 26** Quali sono le tecniche usate per riconoscere la delimitazione di un frame?
- 27** Perché la «violazione di codifica» può essere usata per delimitare un frame?

- 28** Quali sono le differenze tra un codice a rilevazione di errori e un codice a correzione di errori?

## Verifica delle ABILITÀ

**Unità 12**

- 29** Scrivi (in pseudo codice) le procedure di trasmissione e ricezione di un protocollo Stop & Wait.
- 30** Scrivi (in pseudo codice) le procedure di trasmissione e ricezione di un protocollo PAR, utilizzato per la correzione degli errori.
- 31** Completa il seguente diagramma temporale relativo a un protocollo PAR, scrivendo le trame utilizzate (con i relativi numeri di sequenza) sopra alle relative frecce.



- 32** Completa la tabella citando i comandi utilizzati dal protocollo HDLC nelle varie fasi.

|                                                      | ESEMPIO |
|------------------------------------------------------|---------|
| Controllo degli errori<br>(fare un semplice esempio) |         |
| Controllo di flusso<br>(fare un semplice esempio)    |         |

- 33** Scrivere i bit di parità pari delle seguenti sequenze di bit:

11011001

00110101

10010010

- 34** Scrivere il checksum delle seguenti sequenze di 16 bit:

1100011010001101

0011101001110101

0011010011001100

- 35** Supponi di dover trasmettere le trame con numero di sequenza: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Avvalendoti di diagrammi temporali, descrivi il funzionamento del protocollo nei seguenti casi (prima ipotizzando Go Back n, poi Selective Repeat):

- si perde il frame 4;
- si perde la conferma del frame 6;
- il frame 2 arriva errato.

- 36** Calcola il CRC del messaggio 1010010011010011 con polinomio generatore  $x^3 + x + 1$ .

- 37** Supponi che il livello data link del trasmittente riceva dal livello rete un messaggio contenente la seguente sequenza di bit:

00011111110010

Riscrivi la sequenza che deve essere passata al livello fisico aggiungendo il bit di stuffing dove necessario.



Esercizi in più



## The Data Link Layer

### Abstract

The layer 2 of the ISO/OSI model is the Data Link Layer. The data link protocols allow the communication between two or more stations, physically and directly connected.

The main tasks of this layer are error handling, flow control, framing.

There are three error types: the message arrives, but it is different from the originating one; the message doesn't arrive; duplicated receiving message. To manage these potential errors, the reliable protocols insert into the frame a sequence number and use a timer.

### Questions

#### Answer all questions

- 1 Which are the tasks of the Data Link Layer?
- 2 How is the timer used, at the sender side?
- 3 What are the main methods used to delimiter frames?
- 4 What is the meaning of «odd parity»?

#### Choose the correct answer



- 5 The acknowledge field of a frame:
  - [a] is useful to correct transmission errors
  - [b] is useful to prevent errors
  - [c] is useful to implement the sliding window
  - [d] is useful to implement error recovery techniques

### Crosswords

#### Across

- 3 Flow Control protocol
- 6 Error detecting algorithm that uses polynomials
- 7 Internet connection protocol
- 8 Error detecting algorithm
- 9 Negative confirmation
- 10 Positive confirmation

#### Down

- 1 Frame creation
- 2 Data Link Layer protocol
- 3 Sends a frame after receiving receipt confirmation of the previous one
- 5 Error recovery technique

The sender inserts the sequence number, sends the message and sets up the timer; the receiver sends an acknowledge message; if the sender doesn't receive the acknowledgement before the timeout, it will resend the message. The flow control can be implemented by sliding window protocols. Parity bit, CRC, checksum are codes used to identify and correct the transmission errors.

HDLG and PPP are data link layer protocols; Point-to-Point Protocol is particularly used in the Internet world.

- 6** By mean of the selective repeat technique:

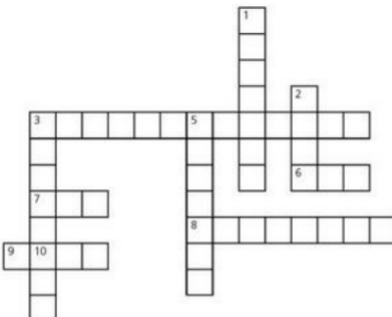
- [a] the sender resends all the frames starting from the incorrect one
- [b] the sender resends the incorrect frame
- [c] it is not possible to detect double frames
- [d] it is not possible to detect missing frames

- 7** The sliding window algorithm:

- [a] detects and corrects the errors
- [b] serially slides the bits
- [c] is useful for the flow control
- [d] is used at physical level

- 8** The receiver's data-link layer:

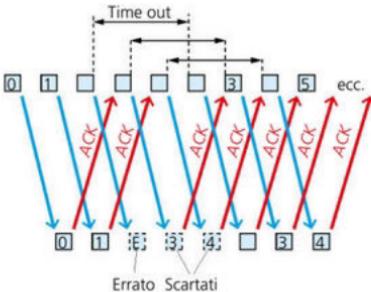
- [a] sends data to the Physical Layer
- [b] sends data to the Network Layer
- [c] receives data from the Physical Layer
- [d] receives data from the Transport Layer



# Verifica delle COMPETENZE

## Tema 3

- 1 Che cosa si intende per *bit time*?
- 2 Perché la velocità di trasmissione si misura in bit al secondo?
- 3 Consulta il web per determinare come si misura la velocità di Internet e specifica la differenza tra velocità teorica e velocità effettiva e il nome di almeno un programma che può essere utilizzato per effettuare il test. Se possibile effettua il test.
- 4 Consulta il web (siti autorevoli) per determinare come effettuare la connessione a Internet di una rete domestica. Riporta sul tuo quaderno: **a.** siti consultati; **b.** che cosa serve per connettere a Internet una rete domestica; **c.** come fare per connettere a Internet più dispositivi (per esempio PC portatile, tablet, stampante); **d.** che tipo di connessione utilizzeresti.
- 5 Indica almeno un motivo per cui ritieni utile conoscere il significato dello sviluppo in serie di Fourier.
- 6 Confronta le tariffe offerte dai principali fornitori di servizi Internet e riporta i risultati ottenuti in una tabella.
- 7 Rappresenta schematicamente come è organizzato il software di rete, facendo riferimento al modello ISO/OSI.
- 8 Dopo aver chiarito la differenza tra architettura di rete e architettura di un'applicazione di rete, presenta il modo in cui è comunemente organizzata un'architettura di rete e i modelli di applicazione di rete studiati.
- 9 Esponi, nei dettagli, il significato degli elementi del modello ISO/OSI.
- 10 Esponi, utilizzando una tabella, le principali differenze tra rete LAN e rete WAN.
- 11 Indica il significato di banda di frequenza di un segnale.
- 12 Esponi lo schema della comunicazione di Shannon e applicalo a una realtà a te nota.
- 13 Scrivi la formula per determinare la capacità di un canale di banda B con rumore.
- 14 Esponi la differenza tra informazione e comunicazione fornendo anche un esempio tratto dalla vita reale.
- 15 Quali sono i compiti del livello fisico?
- 16 Quali sono le caratteristiche delle onde elettromagnetiche che entrano maggiormente in gioco nella trasmissione dei segnali?
- 17 Esponi e discuti il modello di comunicazione proposto da Shannon.
- 18 Che cosa si intende per *informazione*?
- 19 Che cosa si intende per *codifica dell'informazione*?
- 20 Che cos'è un codice?
- 21 Calcola il CRC per il frame 10110100, usando 1011 come polinomio generatore.
- 22 Considera la seguente figura, che descrive un protocollo di Error Recovery. Completa lo schema con i numeri di sequenza (progressivi) e i numeri di ACK, e indica il nome del metodo usato.



- 23 Descrivi il significato di protocollo di rete e spiega perché i protocolli a finestra scorrevole implementano il controllo del flusso.
- 24 Utilizza Packet Tracer per collegare tre PC desktop a uno switch. Definisci:
  - dispositivi e apparati utilizzati
  - mezzi fisici di trasmissione
  - rappresentazione logica della rete
  - rappresentazione fisica della rete
- 25 Supponi di dover trasmettere le trame con numero di sequenza: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Avvalendoti di diagrammi temporali, descrivi il funzionamento del protocollo nei seguenti casi (prima ipotizzando Go Back n, poi Selective Repeat):
  - si perde il frame 6;
  - si perde la conferma del frame 10;
  - il frame 3 arriva errato.

# Orientamento al lavoro

## Protocolli di rete

### Contesto

Impiego all'interno del team di ricerca e sviluppo dell'azienda leader mondiale nei settori networking e IT. Il team si occupa nello specifico di sviluppare quella parte di software di gestione di reti ottiche in grado di aggiungere «intelligenza» alle reti stesse. In particolare, la suite di protocolli GMPLS rappresenta il piano di controllo della rete ottica a lunghezza d'onda (WSON). È in grado di fornire gli strumenti di controllo alla rete, che sarà così in grado per esempio di valutare la fattibilità ottica di un servizio, di reagire a fronte di problemi nella rete stessa (come il comune, e in alcuni Paesi assai frequente, taglio della fibra, dovuto a lavori di scavi nelle strade), ripristinando il servizio automaticamente senza la richiesta di intervento da parte di un operatore.

Il team interagisce con altri gruppi che cooperano nello sviluppo dell'intero sistema, spesso dislocati in varie parti del mondo: Stati Uniti, India, Cina ...

### Intervista a

**Domenico La Fauci**, cresciuto in Sicilia e laureatosi in ingegneria elettronica presso l'Università degli Studi di Messina. Adesso vive in Brianza con la moglie e i quattro figli. Dal 2001 fa parte del team di ricerca e sviluppo che si occupa della fotonica nell'azienda leader mondiale nei settori networking e IT.

### Quali sono i settori aziendali che si occupano di protocolli di rete e quale lavoro concretamente si basa sui protocolli di rete?

La mia azienda è nota nel mondo per aver permesso la diffusione e la trasmissione dei dati sviluppando router, switch e i relativi protocolli di rete che sono alla base di Internet.

Esistono degli organismi mondiali che si occupano di definire standard, come le RFC (*Request for Comments*) di IETF (*Internet Engineering Task Force*), che descrivono dettagliatamente il funzionamento e il formato di ciascun protocollo di rete.

Chiunque intenda utilizzare tali protocolli dovrà implementare e attenersi alle raccomandazioni descritte dagli organi di standardizzazione, in ma-

niera da garantire una compatibilità tra i diversi dispositivi connessi in rete. Un esempio di protocollo di rete usato nello streaming video è RTSP, pensato per ottimizzare la quantità di dati e ridurre la latenza richiesta da questo tipo di applicazioni. Nel mondo IoT i protocolli di rete (6LoWPAN, ZigBee, LoRa, Sigfox ecc.) sono interessati soprattutto a ridurre la quantità di dati inviati, perché spesso la banda disponibile è minima; sono quindi richiesti algoritmi di compressione e ottimizzazione dei dati. I protocolli di sicurezza (TLS, SSL ecc.) servono a garantire la genuinità dei dispositivi e una comunicazione sicura tra la sorgente e i destinatari; sono dunque necessarie tecniche crittografiche per codificare i dati.

### Chi sono i clienti e i fornitori?

I nostri clienti sono spesso i grandi operatori telefonici o service provider che gestiscono la comunicazione e il traffico dati di intere nazioni, in grado di offrire servizi telefonici, mobili e internet. I fornitori con cui interagiamo sono tutte quelle aziende che forniscono dispositivi elettronici e ottici che integriamo e utilizziamo nei nostri apparati, nonché i fornitori di software quali sistemi operativi, stack di protocolli di rete ecc.

### Qual è il mercato oggi e qual è la previsione per i prossimi anni?

Il mercato odierno sta riscoprendo un grosso boom di richiesta di traffico dati, legato all'utilizzo sempre più diffuso di smartphone, con il conseguente incremento della richiesta di streaming video/audio, che si sta capillarmente diffondendo. Quello che prevediamo nel prossimo futuro è una costante crescita della richiesta di banda dati, legati al 5G e alla richiesta di servizi connessi alla sicurezza e alla segretezza dei dati.

### Qual è la figura professionale che è richiesta in questo ambito?

Le figure richieste sono tecnici e ingegneri in grado di sviluppare software e hardware con ampie competenze di base, tanta passione, grande disponibilità e apertura alle novità. L'ampio ventaglio di conoscenze e di competenze necessarie richieste

dai molti settori tecnologici interessati non possono essere fornite totalmente da scuola e università, ma spesso un *training on the job* è necessario per acquisire le competenze specifiche richieste. Serve quindi una spiccata disponibilità a relazionarsi (quasi sempre in lingua inglese) e a lavorare in gruppo, valicando le differenze di cultura e appoggio con cui spesso si ha a che fare.

### Che tipo di formazione deve avere?

Per potersi muovere agilmente negli ambienti di sviluppo è indispensabile una laurea specialistica. Una solida formazione accademica, infatti, più che trasmettere nozioni, mette normalmente in condizione di maturare un metodo di approccio efficace alle più svariate situazioni. Il bagaglio di conoscenze, soprattutto in un settore come il nostro, in continua e rapida evoluzione, va costantemente aggiornato. Gli strumenti più efficaci sono le pubblicazioni accademiche, gli articoli specialistici, i seminari e il confronto sul campo con altri professionisti.

### Ci racconta un po' la sua esperienza, la sua storia, il rapporto con i colleghi?

Il mondo degli sviluppatori è popolato da gente concreta, cui piace affrontare i problemi e risolverli. Siamo di quelli che indossano quasi sempre jeans e polo, che si fanno la barba solo se è necessario e trascorrono la domenica al parco, possibilmente in bicicletta. «Nerd un po' cresciuti», potremmo dire, di quelli che si divertono da matti a montare i mobili seguendo le istruzioni, installano webcam in ogni angolo della casa e automatizzano persino il sistema di apertura della gabbia del proprio criceto, se ne hanno uno.

Il nostro gruppo di lavoro è piuttosto consolidato. Lavoriamo insieme da parecchi anni. Trascorriamo ore a progettare, testare e pensare a come soddisfare le richieste dei nostri clienti, ma condividiamo anche pezzi di vita e interessi spesso affini. La passione per il buon cibo, per esempio, ci porta spesso a organizzare escursioni per vitigni e cantine e quello per la montagna e l'aria buona a fare gite in mountain bike. L'azienda favorisce questi momenti e offre addirittura la possibilità di destinare del tempo alla solidarietà sociale.

Partecipare a questi eventi collettivi non è solamente un modo per «fare gruppo», ma è spesso

occasione di crescita e arricchimento personale. E condividere un percorso di crescita rende grati.

### La cosa più bella e quella più brutta della sua esperienza lavorativa?

Le esperienze più gratificanti, come è ovvio, sono quelle di successo, e il mio team ne ha centrate parecchie. È accaduto molte volte che il nostro lavoro sia stato apprezzato dai clienti e abbia permesso all'azienda di vendere una certa soluzione, con grande personale soddisfazione di noi tutti.

Situazioni meno gradevoli sono invece quelle in cui, per un motivo o per un altro, progetti anche tecnicamente molto interessanti, ai quali magari hai già iniziato a lavorare, subiscono un arresto. Questo avviene raramente, ma può capitare. Le ragioni di questi improvvisi stop sono di solito legate a strategie aziendali anche condivisibili, ma difficili da digerire per una squadra di «nerd un po' cresciuti», che tende ad appassionarsi alle sfide tecnologiche. Quasi sempre, per fortuna, di lì a poco ti viene proposto un nuovo progetto ed ecco un'altra sfida da raccogliere.

Meno semplice, invece, è metabolizzare un riaspetto dell'organico del gruppo. Purtroppo a causa dell'andamento altalenante del mercato o per misteriose strategie aziendali, capita a volte che certe collaborazioni vengano interrotte e che persone che conosci e con cui lavori da anni non vengano confermate. Un colosso come la nostra azienda tutela i propri lavoratori da molti punti di vista e riserva loro il miglior trattamento immaginabile, ma accade anche che a volte qualcuno vada via. Questo tuttavia fa parte del lavoro. Consola il fatto che il settore è ancora abbastanza dinamico e ricettivo e offre quindi molte possibilità.

### È contento del suo lavoro? Lo sceglierrebbe di nuovo?

Affolutamente sì. Affronto il mio lavoro con passione e anche nei momenti meno «neurotonici» (capitano anche nei più alacri laboratori di «nerd un po' cresciuti») mi pongo sempre l'obiettivo di cercare nuovi stimoli. Curiosità e fame di innovazione sono il vero motore del nostro lavoro e vanno nutriti, tenendo presente che il rapporto con gli altri è un'opportunità e va coltivato. E per fortuna le nuove sfide nel nostro mondo non mancano mai.

# Sfida finale

## Scenario

Il protocollo X-File, nonostante il nome richiami la nota serie televisiva, non ha nulla di inspiegabile o soprannaturale. Si tratta di un protocollo di tipo PAR, facile da implementare, che appartiene alla famiglia dei protocolli XMODEM, utilizzato per il trasferimento di file a livello Data Link.

XMODEM fu sviluppato da Ward Christensen alla fine degli anni Settanta per permettere agli utenti di scambiare file tra i loro computer, attraverso un modem. Divenne molto popolare e, anche se ormai superato, conserva tutte le caratteristiche (formato della trama, controllo degli errori, ritrasmissioni di trame errate) che lo rendono perfetto per la didattica.

Le sue funzioni comprendono l'apertura e chiusura della comunicazione, il controllo degli errori con il conseguente riscontro positivo o negativo delle trame ricevute, un rudimentale controllo di flusso ([Tabella 1](#)).

| Trasmittente                                                                                                                                                                | Ricevente                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Formattazione della trama</li> <li>Calcolo del checksum</li> <li>Aggiunta del checksum in coda</li> <li>Invio della trama</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rilevazione della trama</li> <li>Controllo della formattazione dell'intestazione</li> <li>Controllo del checksum</li> <li>Conferma positiva (ACK) / negativa (NAK)</li> </ul> |

↑ Tab. 1

In [Figura 1](#) è mostrata la struttura della trama di *X-File*. La trama possiede un'intestazione con i campi di controllo e una coda con il checksum.

La trama è di lunghezza fissa, pari a 131 Byte, ed è così suddivisa:

- **<SOH>** (*Start of Header*, Codice ASCII 01h): rappresenta l'intestazione del blocco dati; è il primo carattere della trama (1 byte);
- **<numero blocco>**: contiene il numero progressivo del blocco che viene trasmesso; la numerazione va da 0 a 255 e continua ciclicamente, (0...0xFF h – modulo 255) (1 byte);
- **<campo dati>** di lunghezza fissa di 128 byte;
- **<checksum>**: byte di controllo per la correttezza dei dati; è ottenuto come sommatoria dei dati presenti, modulo 255 (1 byte).

| SOH    | numero blocco | DATI     | checksum |
|--------|---------------|----------|----------|
| 1 byte | 1 byte        | 128 byte | 1 byte   |

↑ Fig. 1 La trama del blocco dati di *X-File*.

La procedura di comunicazione tra un trasmittente (**TX**) e un ricevente (**RX**) si basa sui messaggi di conferma positivi (**ACK** – *Acknowledge*, valore ASCII 06h) e negativi (**NAK** – *Negative acknowledge*, valore ASCII 15h) inviati dal ricevitore a fronte di una trama ricevuta corretta o errata. Il timer (**TO**, *Time Out*) del trasmittente permette di inoltrare nuovamente la trama di cui non si è avuta conferma. I messaggi del ricevente permettono di aprire la comunicazione o di svincolarsi nel caso in cui non si riceva più alcun messaggio.

- All'inizio della comunicazione il ricevente prende l'iniziativa, segnalando al trasmittente la disponibilità a ricevere con il messaggio NACK. La procedura viene ripetuta allo scadere del timer (tipicamente ogni 10 secondi).
- Il trasmittente, come risposta al NACK, invia il blocco numerato a partire da 0, modulo 255.

- Se la ricezione avviene correttamente, cioè il checksum è corretto, RX risponde inviando il carattere ACK informando il trasmittente che la trama è stata ricevuta correttamente e sollecitandolo a inviare il successivo blocco dati;
  - altrimenti il ricevente risponde con NACK e invita TX a ritrasmettere nuovamente lo stesso blocco dati.
- Alla fine della trasmissione TX invia il carattere EOT (*End of Transmission*, valore ASCII 04h), con il quale informa RX che il file è stato completamente inviato e ritiene chiusa la comunicazione.
- Il ricevente riconosce il carattere EOT e chiude, a sua volta, la comunicazione inviando un ACK.

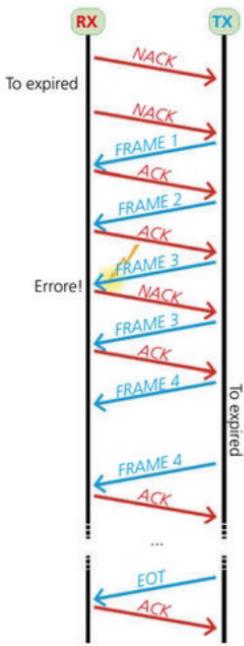
Il diagramma di sequenza di **Figura 2** mostra un esempio di trasmissione con una trama errata e una conferma non ricevuta. La logica del ricevente di X-File è illustrata nel diagramma a stati di **Figura 3**.

### Obiettivi

- Individuare la logica del protocollo X-File.
- Studiarne il diagramma di sequenza con i casi positivi e negativi.
- Verificarne la possibilità di implementazione.

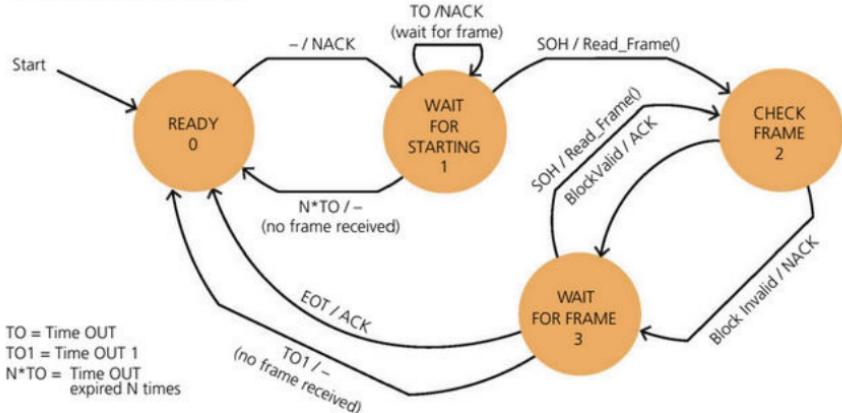
### Consegna

- 1 Implementare in pseudo-codice il ricevente del protocollo X-File, seguendo le indicazioni presenti nello Scenario.
- 2 (Opzionale) Implementare in pseudo-codice il trasmittente del protocollo X-File.



↑ Fig. 2 Il diagramma temporale del protocollo X-File.

### X-File (receive state machine)



↑ Fig. 3 La macchina a stati del protocollo X-File.



# Il protocollo TCP/IP e la protezione dei dati

## Tema 3

### Obiettivo

Apprendere i concetti chiave del protocollo TCP/IP e comprendere l'importanza dell'Educazione civica nella protezione della privacy online.

### Prerequisiti

Prima di iniziare l'attività è necessario:

- conoscere i principi fondamentali del protocollo TCP/IP, compresi i quattro strati che compongono il modello e il modo in cui ciascuno strato contribuisce alla comunicazione in rete;
- essere sensibilizzati al concetto di privacy online e ai motivi per cui è importante proteggere i propri dati personali quando si usano servizi online;
- distinguere le diverse minacce alla privacy online, come per esempio il phishing, le truffe online e il furto di dati;
- sapere come l'Intelligenza Artificiale può essere usata per proteggere la privacy online; per esempio, per rilevare e bloccare e-mail di phishing o per migliorare la sicurezza dei dati.

### Svolgimento

L'esercitazione si svolge in gruppi che rappresentano i diversi livelli del protocollo TCP/IP.

La sfida è capire in quale modo si possano introdurre, per ogni livello (quindi, per ogni gruppo), dei meccanismi di protezione (oltre a quelli già esistenti) per prevenire minacce alla sicurezza.

In classe i banchi possono essere realmente disposti come gli strati del modello, per una maggiore aderenza alla teoria.

L'attività può essere affinata, immaginando particolari contesti applicativi (piccola azienda, organizzazione senza scopo di lucro ecc.), in relazione ai quali cambia il tipo di minaccia.

I diversi gruppi possono utilizzare ChatGPT, Google Bard o altri chatbot per ottenere consigli sui loro casi specifici.

Nella fase conclusiva, ciascun gruppo deve presentare i propri risultati (sotto forma di elaborato cartaceo, multimediale o altro) e discutere come, per ogni strato del protocollo TCP/IP, sia possibile intervenire per ridurre le minacce informatiche.

Una variante può essere dividere la classe in due settori che fanno ricerche in modo diverso:

- i gruppi di studenti del primo settore lavorano utilizzando l'AI, come è stato spiegato sopra;
- i gruppi di studenti del secondo settore lavorano senza utilizzare l'AI e impiegano i metodi tradizionali: Wikipedia, siti web di settore, documentazione in rete ecc.

Alla fine i due settori si confrontano in modo critico esponendo il proprio lavoro e facendo emergere luci e ombre delle due attività.

# Educazione civica

L'insegnamento trasversale dell'Educazione civica è previsto nelle scuole di ogni ordine e grado. Come da indicazioni ministeriali, l'insegnamento dell'Educazione civica si pone due obiettivi fondamentali:

- contribuire a formare cittadini responsabili e attivi e promuovere la partecipazione piena e consapevole alla vita civica, culturale e sociale delle comunità, nel rispetto delle regole, dei diritti e dei doveri;
- sviluppare nelle istituzioni scolastiche la conoscenza della Costituzione italiana e delle istituzioni dell'Unione europea per realizzare, in particolare, la condivisione e la promozione dei principi di legalità, cittadinanza attiva e digitale, sostenibilità ambientale e diritto alla salute e al benessere della persona.

## Cittadinanza digitale

Tra le tematiche di riferimento per l'insegnamento dell'Educazione civica è presente anche l'Educazione alla cittadinanza digitale. Le conoscenze relative alla cittadinanza digitale si articolano in diversi punti, tra cui:

- informarsi e partecipare al dibattito pubblico attraverso l'utilizzo di servizi digitali pubblici e privati; ricercare opportunità di crescita personale e di cittadinanza partecipativa attraverso adeguate tecnologie digitali;
- conoscere le norme comportamentali da osservare nell'ambito dell'utilizzo delle tecnologie digitali e dell'interazione in ambienti digitali, adattare le strategie di comunicazione al pubblico specifico ed essere consapevoli della diversità culturale e generazionale negli ambienti digitali;
- creare e gestire l'identità digitale, essere in grado di proteggere la propria reputazione, gestire e tutelare i dati che si producono attraverso diversi strumenti digitali, ambienti e servizi, rispettare i dati e le identità altrui; utilizzare e condividere informazioni personali identificabili proteggendo sé stessi e gli altri;
- conoscere le politiche sulla tutela della riservatezza applicate dai servizi digitali relativamente all'uso dei dati personali.

È proprio sulla cittadinanza digitale che sono focalizzate le attività di Educazione civica presenti in questo corso. In questo volume proponiamo due temi: «la cultura del lavoro» e «stili di vita». Ogni attività si articola in due parti: nella prima vengono proposti degli spunti di riflessione inerenti l'argomento in esame; nella seconda la classe è guidata attraverso un percorso di approfondimento, produzione di un elaborato originale e riflessione.



# Lo smart working



## Spunti di riflessione

### Che cos' è lo smart working

Il telelavoro, inteso come attività lavorativa svolta in una sede diversa dai locali aziendali e supportata dalla tecnologia, ha avuto una forte accelerazione durante il periodo della pandemia di Covid-19 perché contribuiva a garantire la continuità dei processi produttivi evitando il contatto tra le persone.

In Italia questa modalità di lavoro era poco diffusa e stentava a diffondersi a causa principalmente di vuoti normativi, di aspetti culturali, di carenza di infrastrutture e di competenze tecniche. Durante la pandemia, per necessità, ci si è trovati costretti a improvvisare ambienti di lavoro remoti e a organizzarsi in pochissimo tempo, utilizzando i mezzi e gli strumenti a disposizione.

Con il passare del tempo, la situazione si è evoluta: dal telelavoro si è passati allo smart working. Lo smart working (detto anche lavoro agile) è una nuova concezione del lavoro, che diventa flessibile in termini di orari e spazi. È un modello organizzativo che può avere notevoli vantaggi, ma richiede responsabilità e capacità organizzativa, sia da parte del lavoratore che da parte dell'azienda. È una sfida culturale, perché lo smart working esce dagli ambienti di nicchia nei quali è nato e si diffonde tra i lavoratori, diventando popolare.



### Che cosa è necessario per poter lavorare in modalità smart working?

Per poter far parte di questa rivoluzione culturale è necessario:

- **Essere aperti a un cambiamento culturale al lavoro.** Il lavoratore deve essere responsabile, organizzato e motivato al raggiungimento degli obiettivi; il datore di lavoro deve trovare una modalità adeguata a misurare e valutare il lavoro svolto dal lavoratore, abbandonando l'idea oramai obsoleta di valutare il lavoro in termini di ore di presenza in ufficio. Anche se può apparire scontato, questo cambio di mentalità è lento e non sempre accettato.
- **Disporre di una dotazione tecnologica adeguata.** Tante sono le tecnologie e gli strumenti necessari per poter lavorare in modalità smart working in sicurezza, ad esempio: una rete internet con elevata velocità di trasmissione, dispositivi hardware come PC e schermi ad alta risoluzione, una rete VPN, software applicativi, software per la collaborazione.
- **Possedere solide competenze digitali.** La tecnologia deve essere utilizzata in modo corretto e consapevole, prestando particolare attenzione alla sicurezza di un sistema informatico.
- **Disporre di spazi adeguati.** Il lavoratore, anche fuori dai locali aziendali, deve sempre disporre di una postazione di lavoro che rispetti i criteri di sicurezza e preservi il benessere fisico. Il datore di lavoro può organizzare e gestire in modo molto flessibile l'ambiente di lavoro nella sede aziendale, superando la logica della postazione fissa.

### La normativa che regola lo smart working in Italia

In Italia lo smart working è chiamato "lavoro agile" ed è regolato dalla Legge n.81 del 22 maggio 2017 (anche detta Legge sul lavoro agile). La legge definisce gli aspetti giuridici relativi ai diritti dei lavoratori, agli strumenti tecnologici, alle modalità di lavoro. Di particolare rilievo sono gli aspetti legati alla sicurezza, sia in termini di salute del lavoratore, sia in termini di sicurezza informatica.

In particolare, la direttiva NIS (Direttiva sulla sicurezza delle reti e dei sistemi informativi dell'Unione, Direttiva NISUE 2016/1148) attuata nel nostro ordinamento con il Decreto Legislativo 18 maggio 2018, n. 65 e con il decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 313/2020 afferma che investire nella formazione digitale del personale e nella sicurezza interna è lo strumento più efficace per tutte le imprese e gli operatori. I temi principali trattati in questa direttiva riguardano: il costante aggiornamento dei software e dei



sistemi, la previsione di sistemi di autenticazione con password complesse, adeguati sistemi di backup dei dati, l'utilizzo di reti private virtuali (VPN) per la navigazione, test continui della sicurezza dei sistemi per individuare per tempo eventuali falle.

## Attività per lo studente

### Obiettivi

L'approfondimento di questo tema ti consentirà di:

- conoscere e comprendere le implicazioni sociali e tecnologiche dello smart working;
- migliorare la tua capacità di lavorare a distanza per obiettivi, in sicurezza, in gruppo.

### Nuclei tematici fondamentali e suggerimenti per l'approfondimento

- Che cos'è lo smart working?
- Quali sono le normative vigenti?
- Quali sono le infrastrutture necessarie?
- Perché può essere considerato un cambiamento culturale?
- Quali sono i rischi legati alla sicurezza informatica?
- Che cosa significa "lavorare per obiettivi"?
- Quali vantaggi può avere lo smart working per il lavoratore?
- Quali risvolti negativi può avere lo smart working nella vita privata dei lavoratori?

### Fasi operative

| Fase                                                                       | Attività                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Fase                                                                         | Attività                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b><br><b>Analisi preliminare (individuale)</b><br>                   | <p>Ogni studente, lavorando individualmente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ricerca sul web informazioni relative allo smart working;</li> <li>• sintetizza e organizza le informazioni raccolte, evidenziando i nuclei tematici fondamentali individuati.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>3</b><br><b>Condivisione dell'elaborato (in team di 2/3 studenti)</b><br> | <p>Ogni gruppo presenta alla classe e all'insegnante il proprio elaborato</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>2</b><br><b>Produzione di un elaborato (in team di 2/3 persone)</b><br> | <p>La classe viene suddivisa in gruppi composti da 2-3 persone.<br/>Ogni gruppo produce un elaborato (documento testuale, documento multimediale, video, presentazione...) che spieghi i nuclei tematici individuati nella fase precedente.</p> <p>Per ogni nucleo tematico si può includere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• un breve video (2-3 minuti) tratto dal web;</li> <li>• un testo di 15-20 righe;</li> <li>• un'infografica;</li> <li>• immagini esplicative.</li> </ul> <p>È opportuno alternare momenti di lavoro "in presenza" e momenti di lavoro "da remoto"; ad esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• organizzazione del gruppo, scelta del tipo di elaborato, suddivisione dei compiti → in presenza;</li> <li>• produzione dell'elaborato e preparazione dell'esposizione orale → da remoto (individualmente o in modo collaborativo);</li> <li>• controllo finale dell'elaborato prodotto e simulazione della sua presentazione alla classe → in presenza.</li> </ul> | <b>4</b><br><b>Riflessione conclusiva (tutta la classe)</b><br>              | <p><b>Per quali motivi il lavoro fatto sullo smart working ti fa essere un migliore cittadino attivo?</b></p> <p>Confrontati con il resto della classe e riflettet anche alla luce della vostra esperienza riguardo a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• organizzazione del tempo;</li> <li>• responsabilità;</li> <li>• capacità di ascolto;</li> <li>• rispetto dei turni di parola;</li> <li>• rispetto delle regole in rete.</li> </ul> |
|                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>5</b><br><b>Valutazione</b><br>                                           | <p>Ogni gruppo valuta il lavoro degli altri esprimendo un giudizio su completezza, chiarezza espositiva, originalità, collaborazione.</p> <p>L'insegnante valuta i lavori usando i criteri di valutazione definiti e tenendo conto delle valutazioni degli studenti. È possibile assegnare un bonus per particolari aspetti emersi dal lavoro presentato.</p>                                                                                          |

# L'impatto dell'informatica sull'ambiente



## Spunti di riflessione

Alcune delle tendenze in atto negli ultimi anni nell'ambito delle tecnologie informatiche hanno un impatto di segno opposto sull'ambiente: positivo per certi aspetti, negativo per altri. Consideriamo due esempi.

A partire dall'inizio del 2020, molte attività hanno decisamente incrementato la modalità on-line: ad esempio lo smart working o la didattica a distanza. Questa tendenza era già in atto, ma ha avuto una notevole accelerazione. In ambito energetico, sensori wireless e tecnologie di monitoraggio hanno permesso di sviluppare sistemi intelligenti che ottimizzano la gestione dell'energia attraverso il controllo di parametri come la temperatura o la luminosità.



Da un lato, il nuovo modo con cui lavoriamo e comunichiamo riduce l'impatto ambientale: basti pensare, per esempio, al minor inquinamento dovuto a un numero inferiore di spostamenti sui mezzi di trasporto. Dall'altro lato, la maggiore dipendenza dai servizi online e dai dispositivi intelligenti comporta una crescita notevole dei consumi energetici con la conseguente maggiore emissione di anidride carbonica, che è la principale causa del riscaldamento globale. La rete Internet, con i sistemi utilizzati per sostenerla, genera circa il 4% delle emissioni di CO<sub>2</sub>, paragonabili ai consumi del settore aereo. Infatti, anche se il termine cloud ("nuvola informatica") rimanda a una sensazione di leggerezza, in realtà esso è un'infrastruttura fisica costituita da migliaia di cavi e fibre ottiche che collegano router e computer (che devono essere raffreddati) e richiede quantitativi di energia enormi.

Per quanto riguarda, in particolare, l'impatto del software sull'ambiente, sono state proposte linee guida che suggeriscono tecniche appropriate di progettazione e di programmazione.

## Il modello Greensoft

Il "Modello Greensoft" considera il ciclo di vita di un "software verde e sostenibile" fornendo i **criteri di sostenibilità da applicare a un software dalla sua nascita al suo ritiro dal mercato**. L'obiettivo è consentire alle parti interessate, dagli sviluppatori agli utilizzatori, di valutare l'impatto del software in base a tre criteri: prodotto, processo di produzione e consumo.

## Il green coding

Anche le tecniche di programmazione e, addirittura, il tipo di linguaggio, possono influire sui consumi energetici. La figura classifica i diversi linguaggi di programmazione in base alla loro efficienza:



Il "green coding" suggerisce pratiche di programmazione che si propongono di ridurre l'impatto ambientale delle attività di sviluppo del software. Ricordiamo alcune di queste "buone pratiche".

- Scegliere linguaggi di programmazione adatti al problema da risolvere, evitando sprechi di memoria e della capacità di calcolo della CPU.
- Utilizzare algoritmi efficienti che riducono il numero di operazioni e il tempo di esecuzione.
- Scrivere il codice in modo semplice e riutilizzabile.
- Migliorare il codice esistente eliminando parti superflue o ridondanti ("code refactoring").
- Abbassare, se possibile, la risoluzione e la qualità di immagini e video in modo da ridurre la quantità di dati che sono inviati in rete.
- Utilizzare il cloud computing per ottimizzare l'uso delle risorse.

- Preferire fonti di energia rinnovabili per l'alimentazione dei server.

Queste pratiche, in ogni caso, devono rispecchiare le scelte consapevoli che vanno adottate a livello organizzativo e personale per uno sviluppo del software sostenibile e a basso impatto ambientale.



## Attività per lo studente

### Obiettivi

Approfondire il tema dell'impatto dell'informatica sull'ambiente ti consentirà di:

- comprendere le implicazioni sociali e tecnologiche dell'impatto ambientale derivante dall'utilizzo dell'hardware e del software;
- individuare le "buone pratiche" della progettazione software.

### Nuclei tematici fondamentali e suggerimenti per l'approfondimento

- Che cosa si intende per sostenibilità ambientale?
- Che cos'è il ciclo di vita per un software verde e sostenibile?
- Elenco almeno quattro buone pratiche del green coding.
- In che modo il software sostenibile permette di conciliare innovazione tecnologica e sostenibilità ambientale?
- Quali implicazioni personali e sociali comporta lo sviluppo di un software sostenibile?

### Fasi operative

| Fase                                                                       | Attività                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Fase                                                                         | Attività                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b><br><b>Analisi preliminare (individuale)</b><br>                   | <p>Ogni studente, lavorando individualmente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ricerca sul web informazioni sull'impatto ambientale del software e la sua sostenibilità;</li> <li>sintetizza e organizza le informazioni raccolte, evidenziando i nuclei tematici fondamentali individuati.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>3</b><br><b>Condivisione dell'elaborato (in team di 2/3 studenti)</b><br> | <p>Ogni gruppo presenta alla classe e all'insegnante il proprio elaborato.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>2</b><br><b>Produzione di un elaborato (in team di 2/3 persone)</b><br> | <p>La classe viene suddivisa in gruppi composti da 2-3 persone.</p> <p>Ogni gruppo produce un elaborato (documento testuale, documento multimediale, video, presentazione...) che spieghi i nuclei tematici individuati nella fase precedente.</p> <p>Per ogni nucleo tematico si può includere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>un breve video (2-3 minuti) tratto dal web;</li> <li>un testo di 15-20 righe;</li> <li>un'infografica;</li> <li>immagini esplicative.</li> </ul> <p>È opportuno alternare momenti di lavoro "in presenza" e momenti di lavoro "da remoto"; ad esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>organizzazione del gruppo, scelta del tipo di elaborato, suddivisione dei compiti → in presenza;</li> <li>produzione dell'elaborato e preparazione dell'esposizione orale → da remoto (individualmente o in modo collaborativo);</li> <li>controllo finale dell'elaborato prodotto e simulazione della sua presentazione alla classe → in presenza.</li> </ul> | <b>4</b><br><b>Riflessione conclusiva (tutta la classe)</b><br>              | <p><b>In che modo lo studio sulla sostenibilità del software incide sulla tua vita personale e professionale?</b></p> <p>Confrontati con il resto della classe e riflettete alla luce della vostra esperienza. Tieni conto di tutti i fattori coinvolti, tra cui i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>algoritmi conosciuti e utilizzati;</li> <li>linguaggi di programmazione;</li> <li>stesura e riutilizzo del codice (metodi, funzioni, oggetti, ricorsività ...);</li> <li>tempo di esecuzione della CPU e occupazione di memoria;</li> <li>tempo di scaricamento di una app e occupazione della memoria;</li> <li>utilizzo dei servizi in cloud per eseguire applicazioni su server e come repository di dati, immagini, video, musica...</li> </ul> |
|                                                                            | <b>5</b><br><b>Valutazione</b><br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                              | <p>Ogni gruppo valuta il lavoro degli altri esprimendo un giudizio su completezza, chiarezza espositiva, originalità, collaborazione.</p> <p>L'insegnante valuta i lavori usando i criteri di valutazione definiti e tenendo conto delle valutazioni degli studenti. È possibile assegnare un bonus per particolari aspetti emersi dal lavoro presentato.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

# Indice analitico

- SG **341**  
 8086, microprocessore **156**
- A**
- accelerometro **239, 259**  
 access point **309, 312**  
 accesso  
     diretto **22, 36**  
     multiplo a divisione di  
         codice **351**  
     sequenziale **36**  
 accumulatore **10**  
 ACK, Positive  
     Acknowledgement **372**  
 ADSL **339, 377**  
 AGP **139**  
 albero, topologia ad **312**  
 algoritmo **68**  
 anello, topologia ad **313**  
 antenne **340-341**  
 architettura **6, 9**  
 Arduino **147, 250**  
     esercitazioni con **260**  
 Arithmetic Logic Unit  
     (ALU) **9, 11**  
 aritmetico/logiche,  
     istruzioni **171, 173**  
 ARM, microprocessore **202**  
     Programmazione in  
         Assembly **222**  
 armoniche **342**  
 ARQ, Automatic Repeat and  
     reQuest **370**  
 array in ARM **215**  
 assemblatore  
     (assembler) **71, 73**  
 assembly **71, 74**  
     istruzioni **79**  
     programmi **92, 182, 222**  
 attenuazione **339, 344**  
 attuatori **244, 245**  
 ATX, connettore **137**
- B**
- banda **342**  
     passante **344**  
 bandwidth **251**  
 Barabási, Albert-László **306**
- batteria **141**  
 BCC, Block Check  
     Control **367**  
 Berners-Lee, Tim **325**  
 BIOS (Basic Input-Output  
     System) **142**  
 bit **20**  
     di controllo **44**  
     di parità **347, 367**  
     di stato **10**  
 blocco **43**  
 Bluetooth **141, 320, 336**  
 boot (o bootstrap) **142**  
 boot sector **142**  
 BPU (Branch Prediction  
     Unit) **111**  
 buffer **64, 202**  
 bus **29, 54, 202, 370**  
 bus, topologia a **312**  
 byte **20-21**  
 bytocode **74**
- C**
- cache memory **38**  
 CALL **84**  
 campionamento **352**  
 campo  
     elettromagnetico **337**  
 canale **333**  
 capacità del canale **345**  
 capacità di memoria **21**  
 cavi di rame **337-338**  
 cavo «dritto» **357**  
 cavo Ethernet **357**  
 cavo incrociato **357-358**  
 CDMA, Code Division  
     Multiple Access **351**  
 checksum **368**  
 Chipset **139**  
 circuito stampato **138**  
 CISC **112**  
 Client-Server, reti **314**  
 Clock **12**  
     ciclo di **12**  
     frequenza di **104**  
 CMOS-RAM **141**  
 coda **365**  
 coda di prefetch **156**  
 code segment **162**
- codice  
     macchina **68**  
     operativo **74**  
 codifica  
     AMI **346**  
     Manchester **346**  
     NRZ **346**  
     tecniche di **345**  
 collegamento dati **364**  
 compilatore **71, 73**  
 computer **6**  
 comunicazione **332**  
 condizionale, esecuzione in  
     ARM **213**  
 conferma negativa  
     (REJ) **382**  
 confronto in ARM **212**  
 Control Unit (CU) **9**  
 controllo  
     degli errori **44, 366**  
     del flusso in ARM **211**  
     di flusso **315, 371, 374**  
     di parità **367**  
     strutture di (in  
         ARM) **214**  
 controllore **246**  
 convertitori analogico-  
     digitale **352**  
 convertitori digitale-  
     analogico **352**  
 correzioni degli  
     errori **367, 371**  
 CPSR, Current Program  
     Status Register **204**  
 CPU **9, 22, 27, 30, 54, 58,**  
**61, 104, 138, 144**  
 CPU di DuplOne **75**  
 CRC, controllo a ridondanza  
     ciclica **45, 368**  
 Crossover Cable **358**
- D**
- data link **365**  
 data segment **162**  
 DCE, Data Communication  
     Equipment **357**  
 decode **13, 32**  
 decodifica **24**  
 derivativa, azione **257**  
 desktop **136**
- diagramma temporale **165**  
 diagrammi di  
     sequenza **314**  
 DIMM (Dual In-line Memory  
     Module) **37**  
 direttive ARM **215**  
 dissipatore di calore **138**  
 distorsione **343**  
 DMA, Direct Memory  
     Access **58, 60**  
 doppino telefonico **337**  
 dorsale, topologia a **312**  
 DRAM (Dynamic Random  
     Access Memory) **36,**  
**37, 141**  
 driver **58**  
 DTE, Data Terminal  
     Equipment **357**  
 DuplOne **68**  
 durata **342**
- E**
- eccezioni (ARM) **216, 217**  
 EEPROM **39**  
 elaboratore **6**  
 elaborazione **5**  
 embedded, sistemi **114**  
 emulator **182, 222**  
 ENIAC **115**  
 errori  
     controllo degli **366**  
     correzione degli **366**  
     di trasmissione **366**  
 error recovery **375, 382**  
 ESC **365**  
 eseguibile, codice **73**  
 etero **336**  
 Ethernet **57, 140, 149,**  
**312**  
 etichette in ARM **215**  
 execute **13, 78, 202**  
 extra segment **158, 162**
- F**
- Faggini, Federico **116**  
 FCS, Frame Check  
     Sequence **323, 376**  
 FDMA, Frequency Division  
     Multiple Access **350**

- feedback **247**  
 fetch **13, 32**  
 fibra ottica **337-339**  
 FIFO, First In First Out **156**  
 finestra scorrevole **370, 374, 376**  
 FireWire **57**  
 flag byte **365**  
 Flash Memory **142**  
 flusso dei dati **324**  
 forma d'onda **342**  
 Fourier, Jean Baptiste **343**  
 framing **364**  
 FTP, File Transfer Protocol **321**  
 FTTx **339**  
 FULL DUPLEX **349**
- G**  
 General Purpose Input/Output (GPIO) **254**  
 porta **283**  
 gerarchia di memoria **42**  
 gestione della memoria **44**  
 go back n **375, 376, 382**  
 GPU (Graphics Processing Unit) **143**
- H**  
 HALF DUPLEX **349**  
 hard disk **41**  
 hardware **136**  
 Harvard, architettura **113**  
 HDLC, High-Level Data Link Control **320, 376**  
 header **364, 376**  
 HTTP, HyperText Transfer Protocol **321**  
 hub **307, 308**
- I**  
 IAB, Internet Architecture Board **316**  
 IANA, Internet Assigned Numbers Authority **317**  
 ICANN, Internet Corporation for Assigned Names and Numbers **317**  
 IDE, Integrated Development Environment **253**  
 IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers **316**  
 IETF, Internet Engineering Task Force **316**  
 imbastimento **321**  
 indirizzamento  
     in ARM **210**  
     metodi di **87, 167**  
 indirizzo **23**  
     assoluto **23**  
     relativo (o logico) **23**  
     word aligned **206**  
     word boundary **206**  
 informazione **332**  
 Instruction Register (IR) **11**  
 integrale, azione **257**  
 interfaccia **53, 56, 140**  
     seriale **53**  
 Internet **325**  
 Internet Society **316**  
 interprete **73**  
 interrupt **27, 58, 218**  
     Flag **10**  
 intestazione **322, 376**  
 IoT, Internet of Things **238**  
 IP, Internet Protocol **321**  
 ISO, Internet Society **316**  
 ISO, International Standard Organization **316**  
 istruzioni **6**  
     ARM **206**  
     assembly **74**  
     assembly 8086 **166**  
 DuplOne **90**  
 ITU, International Telecommunication Union **316**
- L**  
 label in ARM **215**  
 Lab on Chip (LOC) **258**  
 LAN, Local Area Network **311**  
 laptop **136**  
 larghezza di banda **344**  
 LCR, controllo longitudinale **367**  
 LDR **210**  
 LED, accensione di un **277, 286**  
 LIFO, Last In First Out **32, 178**  
 linguaggi **68, 70-71**  
 linker **73**
- livelli del modello ISO/OSI **319, 320**  
 livello fisico **332**  
 load **91**  
 locazione **23**
- M**  
 maglia, topologia a **313**  
 Manchester, codifica **346**  
 MAN, Metropolitan Area Network **311**  
 Master-Slave, reti **313**  
 Meltdown **112**  
 memoria **6**  
     centrale **6, 23, 35**  
     CPU 8086 **158, 160**  
     dinamica (DRAM) **37**  
     organizzazione della **23, 75**  
     permanente **22**  
     statica (SRAM) **37**  
     utilizzo della **206**  
     volatile **22**  
 Memory Address Register (MAR) **11**  
 Memory Data Register (MDR) **11**  
 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) **110, 240, 258**  
 metodo di  
     indirizzamento **87, 166**  
     in ARM **207, 210**  
 mezzo trasmissivo **336**  
 microcontrollori **117, 144**  
 microelettronica **258**  
 modem **52**  
 modulazione **253**  
 montaggio delle parti di un PC **148**  
 Moore, Gordon **107**  
 more of Moore **258**  
 more than Moore **258**  
 More, Thomas **371**  
 motherboard **137**  
 multilivello, tecnica **345**  
 multiplazione **350**  
 multiplexaggio temporale **164**
- N**  
 NAK, Negative Acknowledgement **390**  
 network **310**  
 nodi **306, 312**
- North Bridge **139**  
 notebook **136**
- O**  
 offset **23**  
 onda elettromagnetica **337**  
 onde radio **335, 340**  
 operandi **74, 87, 166**  
 operandi ARM **203**  
 orientati al byte, protocolli **376**  
 ottetti **376**
- P**  
 pacchetti **323**  
 PAN, Personal Area Network **310**  
 parallelizzazione **108**  
 PAR, Positive Acknowledgement and Retry **372**  
 PCI (Peripheral Component Interconnect) **140**  
 Peer-to-Peer, reti **314**  
 periferiche **52, 58, 140**  
 Personal Computer **136**  
 Physical Computing **238, 250**  
 piccoli mondi **307**  
 PID, controllo Proporzionale, Integrale, Derivativo **248, 257**  
 pila **178**  
     dei protocolli **319**  
 pin **7**  
 pinout **164**  
 pipeline **108**  
 pipeline ARM **218**  
 Plug&Play **58**  
 polinomio divisore (o generatore) **368**  
 polling **58**  
 POP **33**  
 porta seriale **59, 263**  
 Postel, Jon **317**  
 POST (Power-On Self Test) **142**  
 potenza, legge di **307**  
 potenziometro, lettura di un **267**  
 PPP, Point-to-Point Protocol **320, 376**  
 prelievo **13**

- prestazioni di un microprocessore **104**  
 principi di località **43**  
 processore **6, 9, 104**  
**ARM 202**  
 Program Counter (PC) **10, 31**  
 programma **6, 30**  
 Programmare con DuplOne **91**  
 programmazione **68**  
 PROM (Programmable Read-Only Memory) **39**  
 proporzionale, azione **257**  
 protocolli **252, 253, 255, 261**  
*di comunicazione* **314**  
**PAR 372**  
*Utopia* **371**  
 pseudocodice **68**  
 pull-down **287**  
 pull-up **287**  
 pulsante, lettura di un **265**  
**PUSH 33**  
 PWM (Pulse Width Modulation) **253, 269**  
 Python **70, 276**
- Q**  
 quantizzazione **352**
- R**  
 RAM (Random Access Memory) **6, 22, 36, 42**  
 Raspberry **147, 224, 250, 253, 274**  
 refresh **37**  
 registri **10**  
**ARM 204**  
**CPU 8086 158**  
*di appoggio* **10**  
*multipli, trasferimento di (in ARM)* **211**  
 regolatori PID **248, 257**  
 reset **142, 217**  
 reti  
*classificazione delle* **310**  
*geografiche* **311**  
*sociali* **307**  
*wireless* **340**  
 retina **353**  
 retroazione (feedback) **247, 250**  
 RETURN **84**
- RFC, Request For Comments **316**  
 rilocazione dinamica **163**  
 ring, topologia a **313**  
**RISC 113, 147**  
 RITrasmissione per Time Out **382**  
 RJ45, connettore **140, 357**  
**ROM 22**  
 rotazione **174**  
 router **309**  
 routine **58**  
 RR, procedura con **377**  
 RS-232, connettore **57**  
 rumore **344**
- S**  
 salto **74**  
*in ARM* **212**  
*istruzioni di* **81**  
**SATA (Serial ATA) 140**  
 satellitari, comunicazioni **341**  
**scheda madre 137**  
**scheda video 140**  
 scrittura in memoria **8, 28, 82**  
**SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) 37**  
 Segmento **160, 162**  
 segnalatore ad acqua **378**  
**Selective Repeat 375, 382**  
 selezione in ARM **214**  
 send **377**  
 sensori **239**  
*applicazioni* **240**  
 server **314**  
 servizio **319**  
 Shannon, Claude E. **335**  
 Shannon, legge di **345**  
 shift **174, 209**  
**SIMPLEX 349**  
 single-board computer (SBC) **147**  
 sistema **4**  
*aperto* **5**  
*deterministico* **5**  
 sistemi, classificazione dei **4**  
 sistemi complessi **304**  
**Sliding Window 370**  
 slot **140**  
 smartphone **115**  
 social network **308, 326**
- socket **138**  
 sorgente, codice **73**  
**South Bridge 139**  
 spazio di indirizzamento **30**  
**Spectre 112**  
 spettro **377, 342**  
 spiazzamento **23**  
**SPI (Serial Peripheral Interface) 145**  
**SRAM (Static Random Access Memory) 37**  
**stack 32, 167, 178**  
**Stack Pointer (SP) 11**  
 stack segment **162**  
 standard  
*internazionali* **315**  
 star (stella), topologia a **312**  
**Status Register (SR) 10**  
**Stop & Wait, protocollo 372**  
**store 207**  
**STP, Shielded Twisted Pair 338**  
 Straight-through Cable **358**  
**strati 321**  
**streaming 321, 325**  
**stringhe 176**  
 struttura di controllo **86**  
**stuffing 365**  
 subroutine **84**  
 superscalare, architettura **111**  
**SWI (Software Interrupt) 218**  
**switch 309, 357**  
**System-on-a-Chip (SoC) 144**
- T**  
 tabella dei simboli **73**  
**TCP, Transmission Control Protocol 321**  
**TDMA, Time Division Multiple Access 350**  
**Thumb 204**  
**Time Out 373, 382**  
**TLS, Transport Layer Security 321**  
**topologia 306, 311**  
**trailer 365**  
**trama 320**  
*informativa* **366, 381**
- Trama di Supervisione **377**  
 trasduttore **281**  
 trasferimento  
*in ARM* **208**  
*istruzioni di* **171**  
 trasmissione  
*asincrona* **347**  
*digitale* **336**  
*parallela* **57**  
*seriale* **56, 346**  
*seriale sincrona* **348**
- U**  
**UDP, User Datagram Protocol 321**  
 unità aritmetico-logica **9**  
 unità di controllo **9**  
 Upton, Eben **256**  
**USB (Universal Serial Bus) 57, 140**  
**UTP, Unshielded Twisted Pair 338, 357**
- V**  
**VCR, controllo a ridondanza verticale 367**  
 vettori in ARM **215**  
**VisUAL 222**  
 Von Neumann, John **9**  
*macchina di* **6**
- W**  
**WAN, Wide Area Network 311**  
**Wi-Fi 140**  
**WiMAX 341**  
**wireless 340**  
**WLAN, Wireless Local Area Network 140, 340**  
 word aligned, indirizzo **206**  
 word boundary, indirizzo **206**  
**WPAN, Wireless Personal Area Network 141, 340**  
 write-back **38, 202**
- X**  
**x86, microprocessori 156**  
**XMODEM 377**
- Z**  
**ZigBee 340**