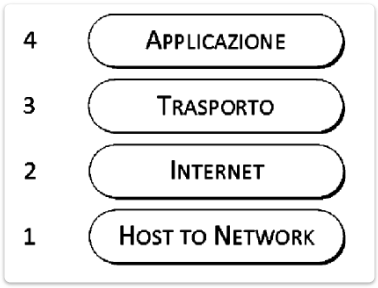
# PROTOCOLLO TCP-IP

- Detto anche modello $internet$
- Architettura a livelli basata su quanto visto nel caso ISO-OSI (seppur semplificata)




## PANORAMICA DEI LIVELLI

### 1) HOST TO NETWORK

Definito in maniera generica perché adattabile a più contesti

- Permette la possibilità di usufruire del protocollo TCP-IP anche tra reti eterogenee, cioè tra reti che hanno livello collegamento e fisico diversi (così che il protocollo diventa adattabile a più contesti)

### 2) INTERNET

Livello rete (IP): permette di configurare la rete in modo tale da consentire lo scambio di pacchetti tra nodi della rete

- Si preoccupa dell'*instradamento*, cioè la modalità con cui l'informazione viene gestita nella rete circa i percorsi che deve fare (di default è a datagramma, quindi $connectionless$, sarà poi eventualmente il livello trasporto a implementare tecniche di $connection\ oriented$)

> *Riassumendo: Gestisce lo scambio di pacchetti tra coppie sorgente-destinazione in modalità $connectionless$ non affidabile (no controllo integrità). E' attivato in modalità link-to-link (tutti i nodi della rete hanno libello rete)*

### 3) TRASPORTO

Detto anche TCP: definisce e attua le modalità di scambio di pacchetti ($connection\ oriented$, $connectionless$...) - come nell'ISO-OSI

- I pacchetti scambiati/generati a questo livello sono detti $datagram$
- È attivato su base end-to-end (implementa quindi eventualmente il controllo integrità)
  - Quindi rende possibili entrambe le modalità $connection\ oriented$ e $connectionless$
- Controlla talvolta (e implementa) il controllo dell'integrità della informazione ricevuta

### 4) APPLICAZIONE

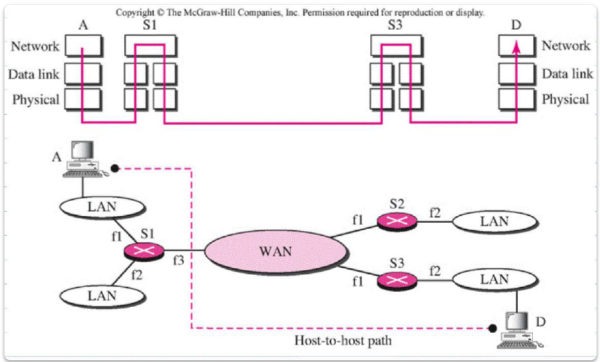
Analogo al caso ISO-OSI

**Livelli Mancanti rispetto a ISO-OSI (sessione, presentazione). Perché?**

Primo motivo: è nata prima dell'ISO-OSI
Era storicamente pensata per un unico fornitore (quindi ad esempio non serviva il livello presentazione perché il formato si supponeva univoco)

---

## ESEMPIO DI COLLEGAMENTO



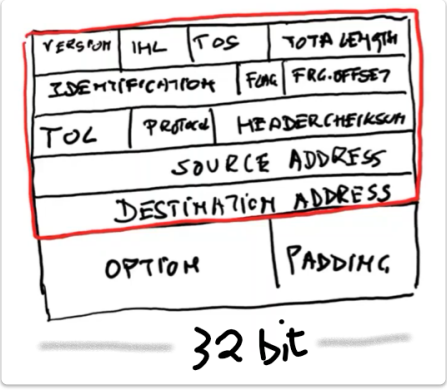
*A vuole connettersi a D*

A apre il collegamento (magari a livello applicazione) e inizia il viaggio dei pacchetti:

- Dal livello rete di A si scende fino al livello fisico passando dal livello collegamento, e si invia tramite il mezzo fisico il necessario
- Il materiale passa per la rete locale LAN giunge al router $S1$ che fa risalire la pila di livelli fino al livello $3$ per capire tutte le informazioni che gli sono state inviate (e per capire come dovrà instradare il pacchetto). Finalmente invia (riscendendo la pila) il pacchetto verso l'esterno, in particolare verso una WAN
- Il flusso arriva proprio al router $S3$ grazie alle informazioni descritte e si effettua il solito passaggio di risalita della pila per capire dove dovrà inviare il dato e poi riscendendo la pila invia effettivamente il dato verso la rete LAN in cui risiede il dispositivo D
- La rete LAN filtra la richiesta e manda tutto a D
- D riceve il pacchetto

---

## LIVELLO IP




- *Lunghezza minima intestazione*: parte in rosso → 5 righe ciascuna di 4 byte (in tutto quindi 20 btye - sono sempre presenti);
- *Opzioni aggiuntive*: option e padding

### NEL DETTAGLIO

1° riga:

- **Version**: specifica la versione del protocollo IP (esempio: IPv4)
- **IHL**: Intermediate Header Lenght (lunghezza intestazione intermedia) - specifica l'effettiva lunghezza della intestazione (almeno 20 byte {parte rossa}, ma se ci sono le opzioni aggiuntive è più lunga)
- **TOS**: Type of service - serve a identificare il tipo di servizio associato al datagramma e di conseguenza le politiche di gestione (attraverso il livello rete possono essere eseguite diversi servizi (es. voip / traffico dati). Ognuno avrà le sue criticità. Con il TOS si aiutano i dispositivi di rete a gestire al meglio il datagramma o permettono un inoltro migliore sulla rete). Si cerca quindi ad esempio di dare maggiore priorità a determinati percorsi - è lungo 8 bit
- **Total length**: specifica lunghezza effettiva in byte del datagramma (header + payload) - è lungo 16 bit (quindi lunghezza massima $2^{16} - 1$ bit)

2° riga {informazioni per gestire reti non omogenee, che hanno ad esempio dimensioni diverse per quanto riguarda il campo data link}:

- **Identification**: è una etichetta per i datagrammi che utilizzano questo protocollo - serve in ricezione per poter riconoscere che un certo datagramma (pacchetto) appartiene a un determinato flusso. Utilizzato per la frammentazione (operazione di suddivisione di un datagramma in parti con formati compatibili con il livello $host\ to\ network$ ) - lungo 16 bit
- **Flag:** È lungo 3 bit:
  - il primo è detto $\text{bit D}$: se vale $1$, allora il datagramma non può essere frammentato (se arriva a un router che interfaccia una rete di inoltro con formato di trasferimento non compatibile allora il frammento viene scartato - tanto l'IP come livello è non affidabile, quindi un pacchetto può essere talvolta scartato)
  - il secondo è detto $\text{bit M}$: serve per gestire l'invio dei frammenti (se vale $1$, vuol dire che successivamente seguirà un altro frammento. Se vale $0$, allora tale frammento è l'ultimo della sequenza, quindi dovrebbe essere stato inviato tutto: sarà quindi inviato al livello successivo che eventualmente esegue il controllo d'integrità)
  - il terzo bit non è utilizzato
- **Fragment offset** (piazzamento frammento): viene usato per individuare la posizione del primo byte del frammento rispetto alla intera struttura del datagramma - è lungo 13 bit
- **TTL** (Time To Live): tempo massimo di vita del datagramma nella rete (se vale zero viene scartato - è associato spesso al numero di router/dispositivi che può attraversare: ogni volta che ne incontra uno, viene decrementato di uno questo valore [scandisce il tempo di vita - evita il problema della "inondazione": troppi router di passaggio]) - è lungo 8 bit
- **Protocol**: identifica il tipo di protocollo e quindi il relativo servizio dello strato superiore (trasporto) a cui il datagramma va indirizzato (identifica il servizio TCP oppure UDP) - è lungo 8 bit

- **Header Checksum**: consente di garantire che non ci siano errori (di trasmissione) nel campo di testata (attraverso un confronto tra specifica mittente e specifica destinatario {cfr. dopo}) Svantaggio: tempo e modalità con cui viene utilizzato: ogni volta che le informazioni nella testata subiscono variazioni, è necessario riscrivere il campo (ha un impatto ad esempio quando si utilizza la frammentazione, in cui si riscrive ogni volta l'offset o talvolta anche i campi di flag - problemi anche quando cambia il destination address etc...). Riassumendo: utile per evitare errori ma rallenta la velocità di trasmissione - è lungo 16 bit

3° e 4° riga:

- **Source address**: indirizzo di sorgente - è lungo 32 bit ($2^{32} - 1$ possibili indirizzi)
- **Destination address**: indirizzo di destinazione - è lungo 32 bit ($2^{32} - 1$ possibili indirizzi)

6° riga (opzionale):

- **Option**: vari utilizzi:
  - utile per implementare un *servizio di sicurezza* (ad esempio nascondere i dati {payload} che si stanno trasmettendo con metodi crittografici - rendere inaccessibile a chi non è autorizzato)
  - utile per l'*istradamento dalla sorgente* (se vogliamo individuare il percorso migliore da una certa sorgente a una certa destinazione senza conoscere la rete com'è fatta allora si invia un "pacchetto esploratore" in modalità broadcast con TTL settato a 1 si scoprono tutte le strade di "andata (fino alla destinazione) e ritorno (fino alla sorgente)"- di queste si sceglie quella che arriva prima, che è la migliore) - nel campo option si tiene traccia degli indirizzi di ciascun nodo (dispositivo) a cui si giunge, così da avere tutte le informazioni che servono poi per specificare il percorso (servono quindi per $\text{gestire il routing}$)
  - utile per *controllare la congestione della rete* (tenere traccia di quanto tempo ci mette un dispositivo a elaborare il datagramma)
  - altri utilizzi...
- **Padding**: valori di riempimento (fittizi) per arrivare a $32\ \text{bit}$. Sono aggregato sulla stessa riga di options

---

## FRAMMENTAZIONE E RICOMBINAZIONE

Utile introdurre una misura:

- **MTU**: Maximum Transmission Unit (valore massimo delle dimensioni del datagramma accettate dalla rete di inoltro su cui si appoggia il layer IP)

Facciamo un esempio numerico per capire:
Un host vuole inviare un datagramma su una rete TCP/IP di dimensione 4000 byte totali (payload + almeno 20 byte della testata)

- Si suppone che questo sia riferito a una rete $ethernet$ per la quale il formato accettato è di $L_M = 1500\ \text{byte}$.
  Si deve quindi procedere alla frammentazione (essendo $4000 > 1500$)

#### VINCOLI:

- ogni frammento deve avere una propria testata IP
- tutti i frammenti eccetto l'ultimo devono avere una lunghezza multiplo intero di 8 byte (se non lo sono, vanno completato con bit "fittizi", e nel caso quindi non si sfrutta al massimo la rete $\rightarrow$ svantaggio)

#### PROGETTO

Abbiamo che:

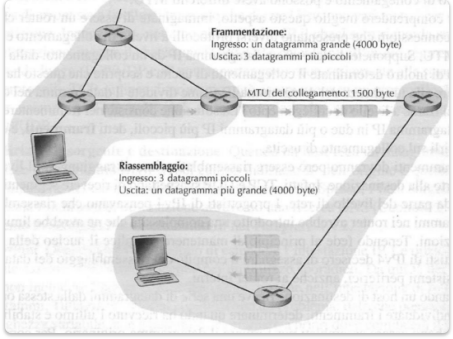
- $L_M = 1500$
  - Di cui: $1480$ byte payload & $20$ byte testata

Fortunatamente $1480$ è un multiplo intero di $8$, quindi non c'è bisogno di utilizzare alcun campo (bit) fittizio

#### FRAMMENTAZIONE

Per gestire la frammentazione si deve definire il valore in binario dei seguenti campi (2° riga):

- Identificatore (ID)
- Flag
- Fragment offset (spiazzamento)




- si partiziona il contenuto informativo quando il pacchetto deve passare attraverso la rete Ethernet
  - i datagrammi di dimensioni più piccoli (partizionati) hanno ciascuno il medesimo $header$
  - l'**end-user** esegue poi la **ricostruzione**

| Frammento | Byte | ID | Spiazzamento | Flag |
|---|---|---|---|---|
| 1° frammento | 1480 byte nel campo dati del datagramma | Identificatore = 777 | Spiazzamento = 0 (i dati saranno inseriti a partire dal byte 0) | Flag = 1 (segue altro frammento) |
| 2° frammento | 1480 byte di dati | Identificatore = 777 | Spiazzamento = 185 (i dati saranno inseriti a partire dal byte 1480. (Nota: 1480 = 185 × 8) | Flag = 1 (segue altro frammento) |
| 3° frammento | 1020 byte di dati (Nota: 1020 = 3980 – 1480 – 1480) | Identificatore = 777 | Spiazzamento = 370 (i dati saranno inseriti a partire dal byte 2960. 2960 = 370 × 8) | Flag = 0 (ultimo frammento) |

- Nota: il campo ID viene scelto in maniera aleatoria, e identifica come già visto il datagramma (infatti tutti i frammenti hanno lo stesso ID)

😡: ritardo consegna - l'operazione di frammentazione ha un suo tempo di esecuzione
😡: sicurezza - un hacker esterno può mandare pacchetti piccoli con numero di spiazzamento casuali o nulli o che magari si sovrappongono con quelli già inviati/ricevuti (in modo che il sistema di ricezione, "confuso", collassa) {nell'IPv6 sarà implementato in maniera più intelligente};
😡: poca flessibilità/tolleranza: se qualche frammento non arriva a destinazione, viene scartato l'intero pacchetto {solo se il livello trasporto usa TCP si può avere speranze di recupero}

## INDIRIZZAMENTO

- Sintassi per scrivere i campi del datagramma volta a una migliore gestione degli indirizzi IP in generale

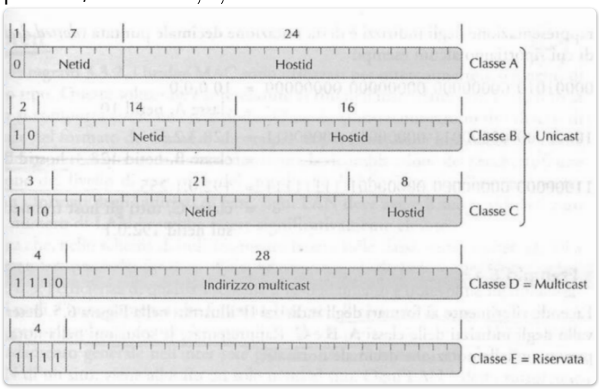
Un indirizzo IP (4 byte - 32 bit) è suddiviso in due parti:

- $\mathrm{NET\ ID}$: identifica la **rete** di appartenenza del terminale host
- $\mathrm{HOST\ ID}$: identifica lo specifico terminale (**host**) all'interno di una rete

Ci sono varie modalità di divisione/indirizzamento, vediamo le principali:

### INDIRIZZI BASATI SULLE CLASSI

- 5 classi: $\mathrm{A,B,C,D,E}$
  - Sono utilizzati per scopi comuni solo le prime $3$, ovvero: $\mathrm{A,B,C}$




- Ogni classe ha un suo "metodo di divisione dei bit" circa i campi NET ID e HOST ID
- Se il primo bit è $0$, allora è di classe $\mathrm{A}$, altrimenti se vale $1$ può essere solo $\mathrm{B,C,D,E}$
- Se i primi due bit sono $10$, allora è di classe $\mathrm{B}$, altrimenti se sono $11$ può essere solo $\mathrm{C,D,E}$
- Se i primi tre bit sono $110$, allora è di classe $\mathrm{C}$, altrimenti se sono $111$ può essere solo $\mathrm{D,E}$
- Se i primi quattro bit sono $1110$, allora è di classe $\mathrm{D}$, altrimenti se sono $1111$ può essere solo $\mathrm{E}$

La classe $\mathrm{A}$ è destinata ad applicazioni con:

- Poche reti
- Numero alto di Host

La classe $B$ è destinata ad applicazioni con:

- Più reti
- Un po' meno host

La classe $C$ è destinata ad applicazioni con:

- Tante reti
- Pochi host

😃: standardizzato - più facile per la macchina comprendere l'indirizzo
😡: spreco di indirizzi - dato che ogni router dovrebbe assegnare un NET ID con potenziali indirizzi non utilizzati

> *Con la tecnica del **subnetting** si può dividere il NET ID in più parti, così che bastano meno indirizzi gestire lo stesso numero di dispositivi, evitando sprechi inutili*

## SUBNETTING

- Maschera di rete che partiziona l'insieme di HOST ID indirizzati in sottoinsiemi. Essi vengono associati allo stesso NET ID.

### INDIRIZZO SENZA CLASSI

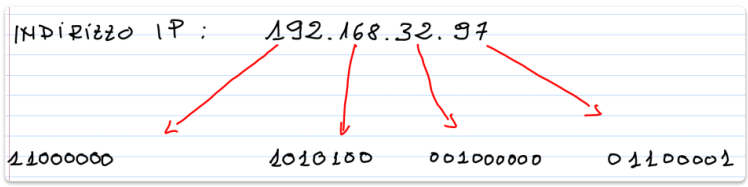
- I campi NET ID e HOST ID hanno dimensione variabili, non esistono quindi vincoli di dimensioni dei campi
  😃: più flessibile
  😡: più complicato per la macchina

### NAT

- Network Address Translation (Traduttore Indrizzi di Rete)
  Ad ogni **rete** viene assegnato un solo indirizzo IP
- Per le comunicazioni interne si utilizzano indirizzi privati, che hanno valenza cioè solo all'interno della rete
- Quando un host della rete decide di aprire una comunicazione con un dispositivo esterno alla rete sorgente, si mostrerà con l'indirizzo pubblico attribuito alla rete
  - 😡: diventa più complicato in fase di ricezione capire l'esatto dispositivo che ha fatto una richiesta, perché appare solo l'indirizzo della rete
  - 😃: meno spreco di indirizzi - una rete con $n$ dispositivi ha bisogno solo di un unico indirizzo per interfacciarsi
  -

### NOTAZIONE DEGLI INDIRIZZI: DECIMALE PUNTATA

- 4 numeri (veicolati con il loro valore in binario) separati da un punto
  Esempio:




Fissata la classe dell'indirizzo (esempio classe $B$), si assegna la possibilità di inserire gli indicatori di HOST ID e SUBNET ID nel campo originariamente previsto solo per le informazioni di HOST ID

- Prendendo la classe $B$ come esempio abbiamo $2$ byte da gestire per l'HOST ID. Con questa nuova modalità i medesimi $2$ byte possono essere gestiti per HOST ID e SUBNET ID
- Nota: i router leggono solo *i primi due campi* che rappresentano la rete (NET ID)
  - I $2$ byte suddetti della classe $B$ hanno una *importanza locale* (della sottorete in considerazione, perché verso l'esterno come detto si interfacciano con un unico indirizzo)

### MASCHERA DI RETE (SUBNET MASK)

- Serve per definire i "confini" dei sottoindirizzi di una rete (NET ID)
- Vale $1$ nelle posizioni di SUBNET ID
- Vale $0$ nelle posizioni di HOST ID
  L'esempio più comune è il seguente (classe $B$):

$$255.255.255.0 \longleftrightarrow \underbrace{11111111.11111111}_{\text{NET ID}}.\underbrace{11111111}_{\text{SUBNET ID}}.\underbrace{00000000}_{\text{HOST ID}}$$

  In questo caso:

- I primi 2 byte sono dedicati a NET ID (per com'è definita la classe $\mathrm{B}$)
- Il terzo byte è relativo al SUBNET ID
- Si lascia libero (solo) l'ultimo byte per indirizzare gli host locali (HOST ID)

Per poter *estrarre* le informazioni necessarie per gestire l'operazione d'inoltro ai router, per ogni rete raggiungibile abbiamo in memoria le maschere di rete associate
La **procedura** è la seguente:

- AND logico per individuare le informazioni circa la maschera di rete (se trovo $0$ invece vuol dire che ho trovato le informazioni dell'host id)

Esempio:
Ad un campus universitario è stato assegnato un indirizzo IP di classe $\mathrm{B}$ seguente:

$$150.10.0.0$$

Avrà maschera di sottorete, essendo di classe $\mathrm{B}$:

$$255.255.255.0 \longleftrightarrow \underbrace{11111111.11111111}_{\text{NET ID}}.\overbrace{\underbrace{11111111}_{\text{SUBNET ID}}.\underbrace{00000000}_{\text{HOST ID}}}^{\text{LOCALE}}$$

### INDIRIZZI SENZA CLASSI: COME VIENE GESTITO IL SUBNETTING

Vediamo con un esempio: si vogliono gestire $1000$ indirizzi ($10^3$)

- Si devono assegnare rispettando la regola di avere un numero finale espresso come potenza di intera di due: avendo $1000$ indirizzi, avremo come riferimento $1024$, ovvero $2^{10}$ (quindi $10$ bit per l'HOST ID e i restanti $22$ per la maschera)
  In notazione senza classi:

$$\mathrm{w.y.z.k}/n \quad , \quad \text{nel nostro caso: } \mathrm{w.y.z.k}/22$$

## PROCEDURA DI INDIVIDUAZIONE DELLA SOTTORETE

Esempio:

- A una sottorete è stato allocato un blocco di $1024$ indirizzi, così localizzato:

$$\text{da } 200.30.0.0 \quad \text{a } 200.30.3.255$$

> *Trovare la maschera di sottorete*

- Traduciamo in binario

$$\begin{aligned} 200.30.0.0 &\longleftrightarrow 11001000.00011110.00000000.00000000 \\ 200.30.3.255 &\longleftrightarrow \underbrace{11001000.00011110.000000}11.11111111 \end{aligned}$$

  Facendo l'AND logico, si ottiene la maschera di sottorete:

$$\underbrace{255.255}_{\text{NET ID}}.\underbrace{252.0}_{\text{sottorete}\rightarrow} \longleftrightarrow \underbrace{11111111.11111111}_{\text{NET ID}}.\underbrace{111111}_{\text{SUBNET ID}}\underbrace{00.00000000}_{\text{HOST ID}}$$

PROCEDURA DI ROUTING = Interrogazione a un database locale interno al Router
Ogni router contiene in memoria (database):

- NET ID di ciascuna rete
- Una copia della maschera degli indirizzi delle reti

Ciascun router quindi che riceve un pacchetto:

- Legge l'IP di destinazione
- Esegue AND logico tra l'indirizzo e le tutte le maschere nel database del router corrispondenti (cfr. esempio successivo)
- In caso di "match" ✓ si identifica la porta del router a cui è associato e il relativo indirizzo destinazione associato al router successivo posizionato meglio secondo l'algoritmo di routing utilizzato (da sovrascrivere nel campo $header$ del datagramma)
- Si reitera fino alla destinazione
- (se non c'è corrispondenze: si manda tutto a un router di default finché TTL $\neq 0$)

**Nota:**
Il matching può portare ad ambiguità: accade cioè che il match con un host dia luogo a corrispondenze multiple

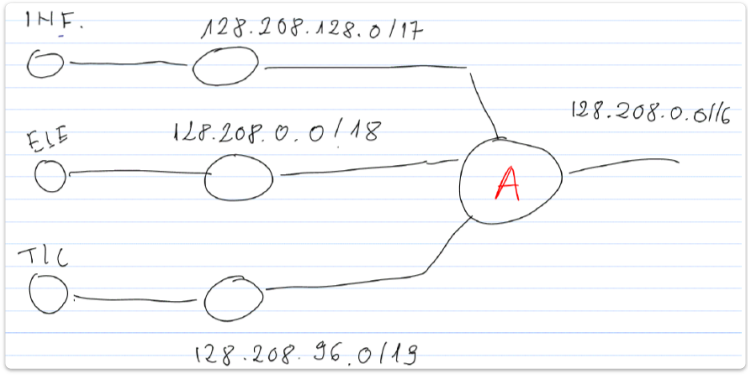
- In tali casi si sceglie la corrispondenza con la maschera di sottorete più lunga (con più $1$): statisticamente infatti è più probabile che sia quello giusto

### ALTRO ESEMPIO

Si assegnato i seguenti blocchi:

| | | | |
|---|---|---|---|
| INFORMATICA | 10000000 | 11010000 | $1xxxxxxx.xxxxxxxx$ |
| ELETTRONICA | 10000000 | 11010000 | $00xxxxxx.xxxxxxxx$ |
| TELECOMUNICAZIONI | 10000000 | 11010000 | $011xxxxx.xxxxxxxx$ |

La struttura della rete sarà la seguente (in decimale):

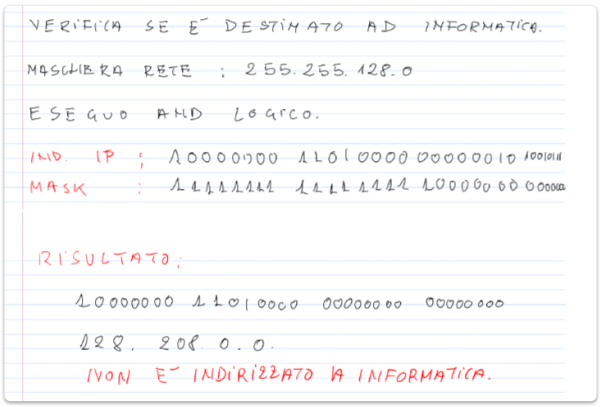



Quando arriva un pacchetto sul router A, esso deve capire qual è la destinazione.
Esempio:

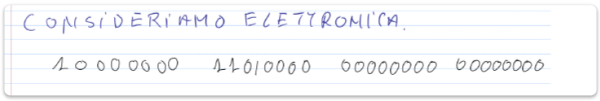
$$128.208.2.151$$

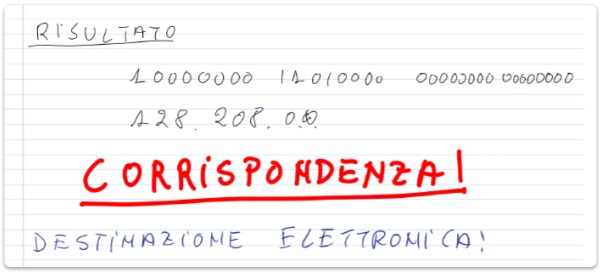
- Si effettua l'AND logico tra l'indirizzo suddetto e tutte le maschere delle sottoreti connesse/disponibili sul router

CASO 1:

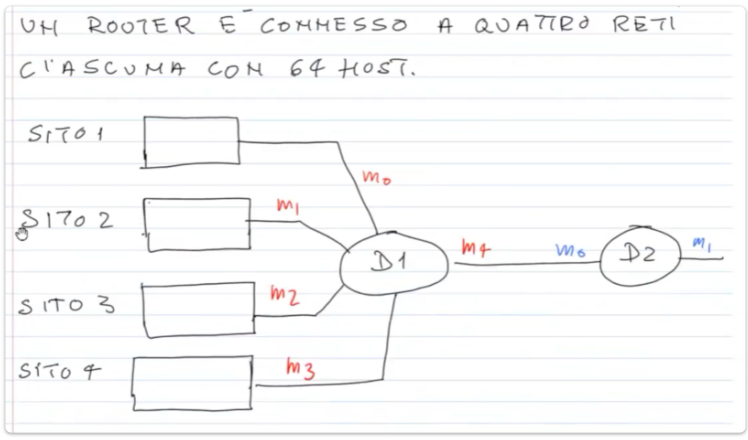


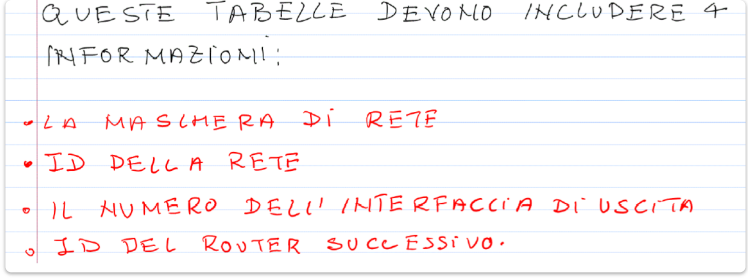

CASO 2:



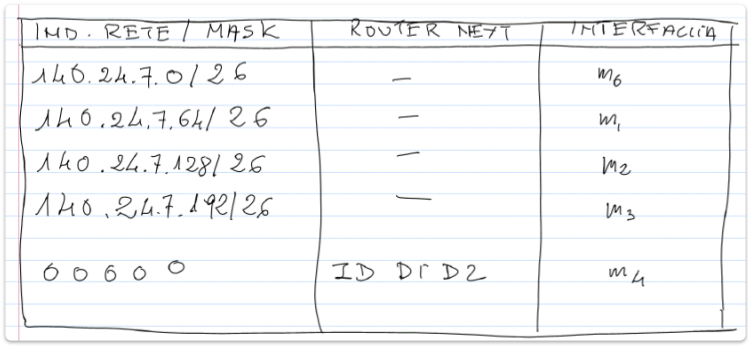




## ESEMPIO: DETTAGLIO SU TABELLE DI ROUTING






Le relative tabelle sono:

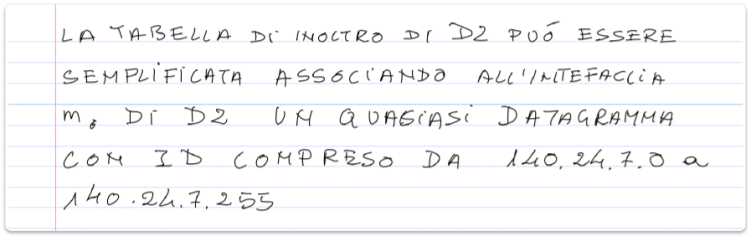



Da leggere come:

- Se arriva [INDIRIZZO/MASK]
- Allora inoltra a [PROSSIMO ROUTER]
- Sulla interfaccia [m_i]

In caso di match: fine (primi quattro casi)
Si noti come solo $m_4$ si interfacci a un nuovo router. Cioè se arriva una richiesta da un indirizzo diverso da quelli descritti precedentemente, allora manda tutto sul router di default $\mathrm{D2}$ attraverso l'interfaccia $m_4$

La tabella di $\mathrm{D2}$ invece:




- In genere si associa l'indirizzo con la sotto maschera più lunga

---

## DHCP

*Dynamic Host Configuration Protocol*
L'host acquisisce in maniera automatica (plug-in-play):

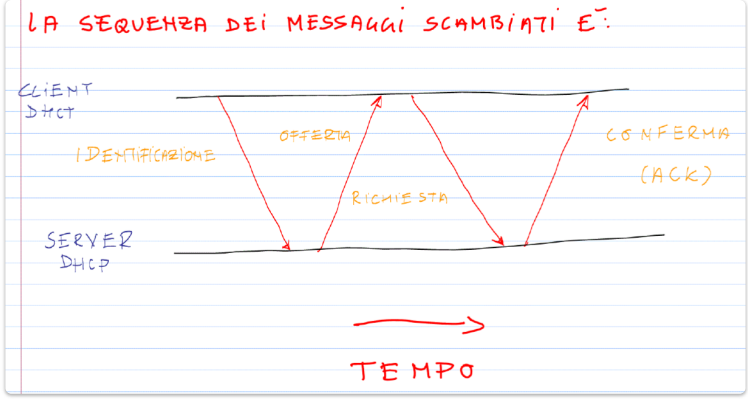
- L'indirizzo IP
- La sottorete
- Gateway (indirizzo router)

L'indirizzo è dinamico perché può cambiare col tempo

- Lo scopo è quello di aumentare l'utilizzo degli indirizzi IP: solo chi è attivo sulla rete possiede un indirizzo

Serve un apposito **server DHCP** associato alla rete

- Il DHCP quindi è un protocollo *client-server* in cui il *client* è il dispositivo che richiede di connettersi




- Il client si fa identificare
- Il server risponde con una o più offerte (di indirizzo)
- Il client quindi sceglie una delle offerte
- Il server conferma (se l'indirizzo è ancora disponibile) con un acknowledgement