



# Reti di Calcolatori I

**Prof. Roberto Canonico**

**Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione**

**Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni**

**Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione**

**A.A. 2017-2018**

---

**Sicurezza nella comunicazione in rete:  
integrità dei messaggi,  
firma elettronica,  
protocolli di autenticazione**

**I lucidi presentati al corso sono uno strumento didattico  
che NON sostituisce i testi indicati nel programma del corso**

# Nota di copyright per le slide COMICS



## Nota di Copyright

Questo insieme di trasparenze è stato ideato e realizzato dai ricercatori del Gruppo di Ricerca COMICS del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli Federico II. Esse possono essere impiegate liberamente per fini didattici esclusivamente senza fini di lucro, a meno di un esplicito consenso scritto degli Autori. Nell'uso dovranno essere esplicitamente riportati la fonte e gli Autori. Gli Autori non sono responsabili per eventuali imprecisioni contenute in tali trasparenze né per eventuali problemi, danni o malfunzionamenti derivanti dal loro uso o applicazione.

### Autori:

Simon Pietro Romano, Antonio Pescapè, Stefano Avallone,  
Marcello Esposito, Roberto Canonico, Giorgio Ventre



# Integrità dei messaggi

Bob riceve un messaggio da Alice, e desidera assicurarsi che:

- il messaggio veramente è stato prodotto da Alice (e non da qualcuno che finge di essere Alice)
- il messaggio non è stato alterato da alcuno dopo che Alice lo ha inviato

Soluzione: **funzioni hash crittografiche**

- Una funzione hash prende un testo in ingresso  $m$ , e produce una stringa di lunghezza prefissata  $H(m)$ 
    - Es. la Internet checksum usata da TCP ed UDP
  - La funzione  $H$  è tale che sia computazionalmente impossibile trovare 2 messaggi diversi  $x$  ed  $y$  tali che  $H(x) = H(y)$ 
    - equivalentemente: noto  $m = H(x)$ , non è possibile ricavare  $x$ .
    - N.B.: la Internet checksum *non soddisfa* questo requisito
-

# Perchè la Internet checksum non può essere una funzione hash



La Internet checksum gode di alcune delle proprietà di una funzione hash:

- produce un digest di lunghezza fissa (16-bit) di un messaggio
- Uno stesso valore di checksum può essere generato da molti messaggi diversi

Ma, dato un messaggio con un dato valore di checksum, è facile trovare un altro messaggio con lo stesso valore della checksum:

<u>messaggio</u>	<u>ASCII format</u>	<u>messaggio</u>	<u>ASCII format</u>
I O U 1	49 4F 55 <b>31</b>	I O U 9	49 4F 55 <b>39</b>
0 0 . 9	30 30 2E <b>39</b>	0 0 . 1	30 30 2E <b>31</b>
9 B O B	39 42 4F 42	9 B O B	39 42 4F 42
	<u>B2 C1 D2 AC</u>		<u>B2 C1 D2 AC</u>

Messaggi diversi  
ma stessa checksum!

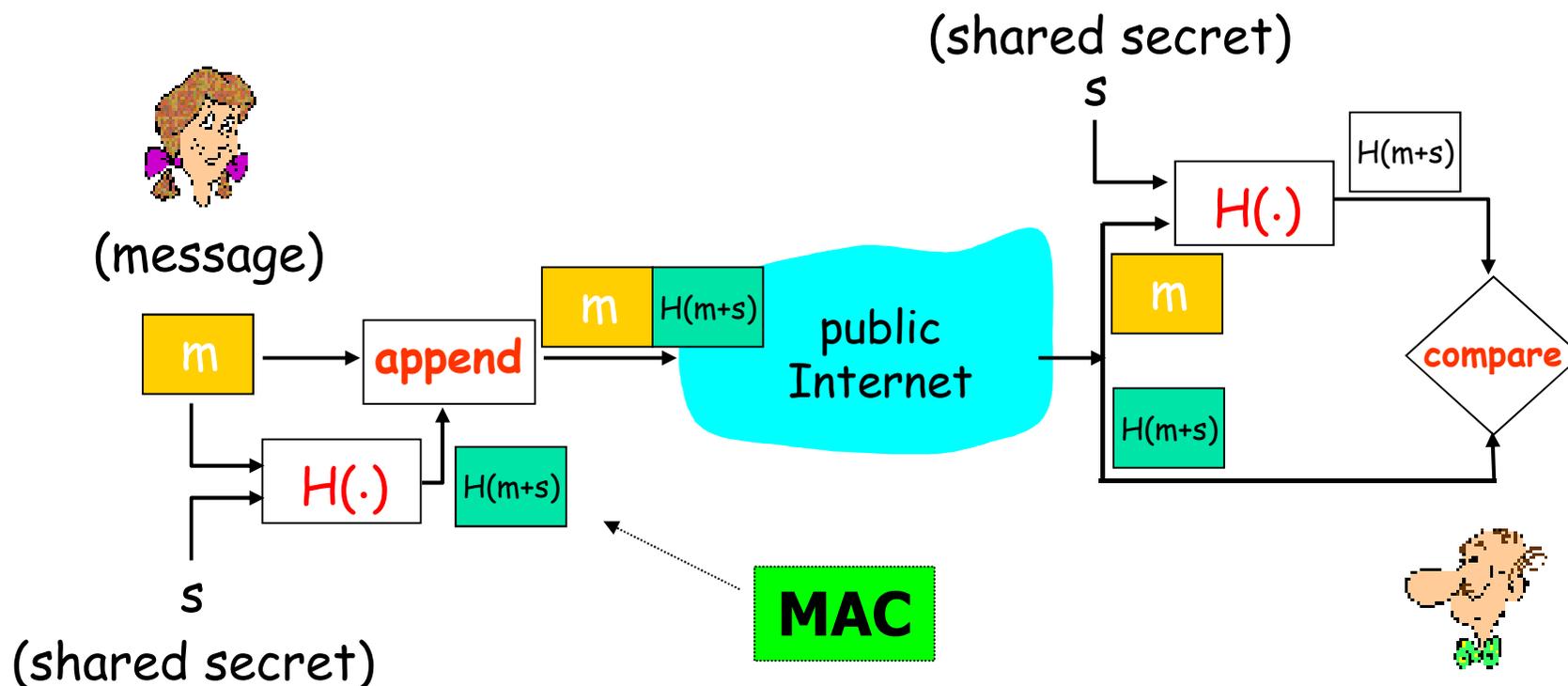


# Funzioni hash usate in pratica

- **MD5 (RFC 1321)**
    - ideato da Ron Rivest
    - calcola un valore hash da 128 bit in 4 passi
    - recentemente (2005) sono state trovate delle tecniche di attacco per MD5 che sono in grado di trovare due messaggi con lo stesso valore di hash (*collisioni*)
  - **SHA-1**
    - standard statunitense
    - calcola un valore hash da 160 bit
-



# Message Authentication Code (MAC)



Consente di controllare l'integrità di un messaggio attraverso l'uso di una funzione hash ed una chiave segreta  $s$  (*chiave di autenticazione*) nota ad entrambi (*shared secret*)



# Firma digitale

---

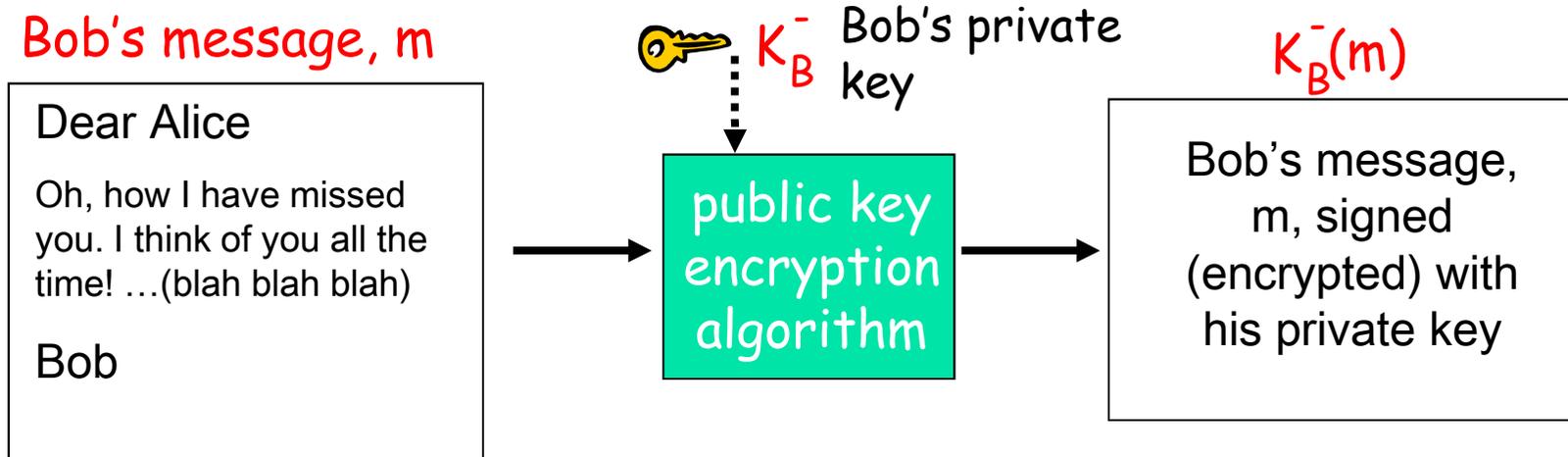
- La firma digitale è una tecnica crittografica che ha gli stessi scopi della firma fatta a mano sui documenti cartacei
  - Il mittente di un messaggio (Bob) appone la sua firma digitale al fine di stabilire che egli è il creatore/autore del testo in esso contenuto
  - Come la firma tradizionale, anche quella digitale deve essere **verificabile** e **non falsificabile**: il destinatario del messaggio (Alice) deve poter provare ad un terzo che è stato Bob, e nessun altro (inclusa la stessa Alice) ad apporre la firma al documento
-



# Firma digitale

Una semplice tecnica di firma digitale:

- Bob “firma” il messaggio  $m$  crittografandolo con la sua chiave privata  $K_B^-$ , creando un messaggio firmato  $K_B^-(m)$



# Firma digitale (continua)



- Alice riceve il messaggio  $m$ , con la firma digitale  $K_B^-(m)$
- Alice verifica che  $m$  sia stato effettivamente firmato da Bob decifrando con la chiave pubblica di Bob  $K_B^+$  il testo cifrato ricevuto  $K_B^-(m)$  e verifica che sia  $K_B^+(K_B^-(m)) = m$
- se  $K_B^+(K_B^-(m)) = m$ , chiunque abbia firmato  $m$  deve possedere la chiave privata di Bob

## Alice così verifica che:

- Bob ha firmato  $m$
- Nessun altro ha firmato  $m$
- Bob ha firmato  $m$  e non  $m'$

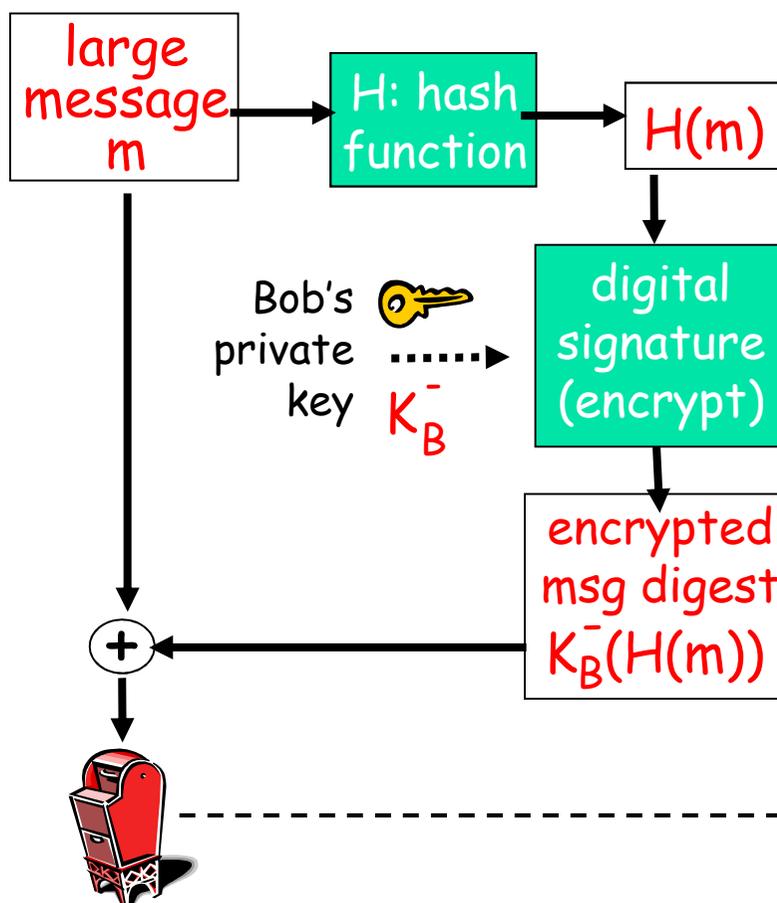
## non-ripudio:

- ✓ Alice può portare il documento  $m$ , e la relativa firma  $K_B^-(m)$  da un giudice e provare che Bob ha firmato  $m$
-

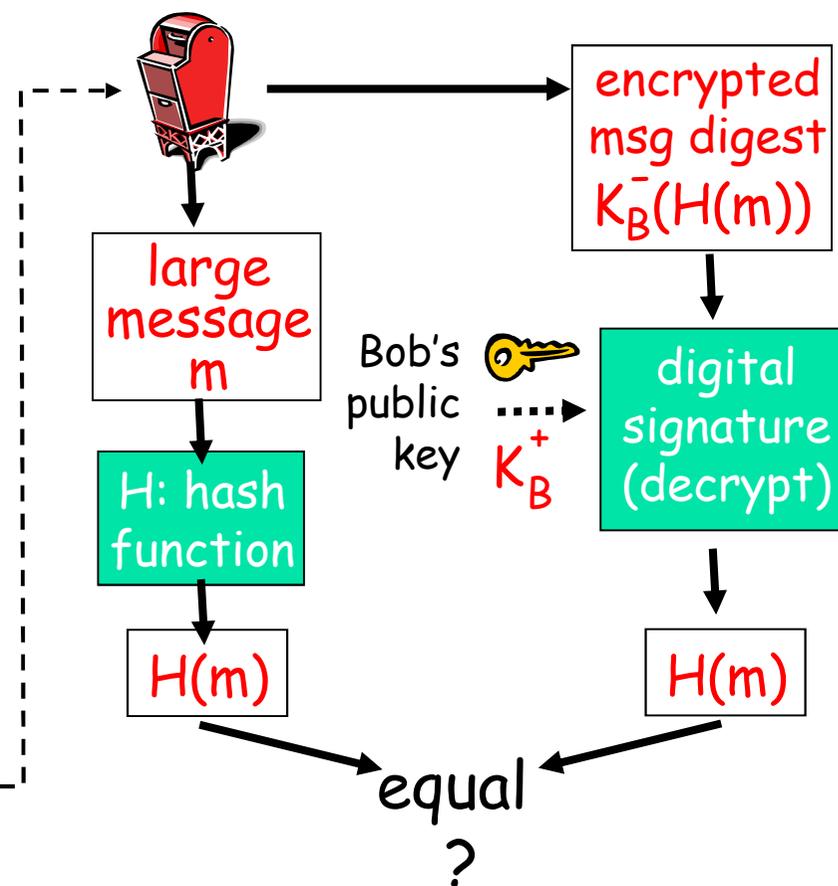


# Firma digitale = firma del digest

Bob invia un messaggio firmato digitalmente:



Alice verifica la firma e l'integrità del messaggio ricevuto:





# Firma digitale in Italia

- I presupposti giuridici che rendono possibili transazioni legali fatte grazie alla tecnologia della Firma Digitale si fondano soprattutto sull'articolo 15 comma 2 della legge 15 marzo 1997 n. 59, la cosiddetta "Bassanini 1", che recita:
  - *"Gli atti, dati e documenti formati dalla pubblica amministrazione e dai privati con strumenti informatici o telematici, i contratti stipulati nelle medesime forme, nonché la loro archiviazione e trasmissione con strumenti informatici sono validi e rilevanti a tutti gli effetti di legge..."*
- L'attuale Codice dell'Amministrazione Digitale, D. Lgs. 7 marzo 2005, n. 82 dispone inoltre, all'art. 21, comma 2, che "il documento informatico, sottoscritto con firma digitale o con un altro tipo di firma elettronica qualificata, ha l'efficacia [della forma scritta] prevista dall'articolo 2702 del codice civile. L'utilizzo del dispositivo di firma si presume riconducibile al titolare, salvo che sia data prova contraria."

# Certificazione della chiave pubblica



## Problema di distribuzione affidabile delle chiavi pubbliche:

- Quando Alice ottiene la chiave pubblica di Bob (da un sito web, una email, un supporto di registrazione, ecc...), come fa ad essere sicura che sia realmente la chiave pubblica di Bob e non di un altro (es. Trudy) ?

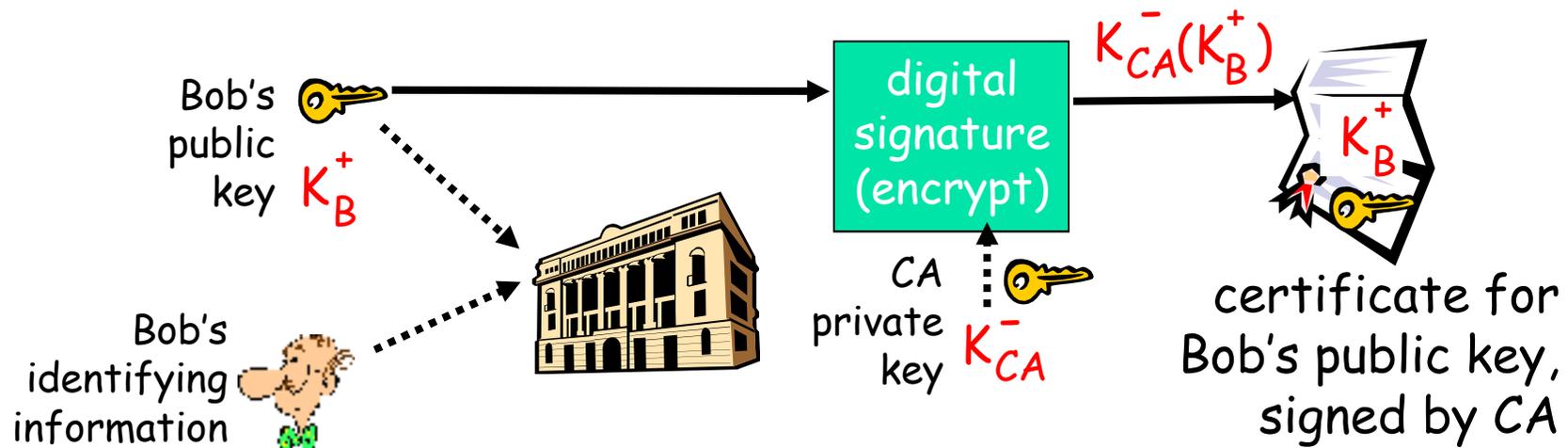
## **Soluzione:**

- trusted certification authority (CA)
  - Una CA è un ente (*trusted third party*), pubblico o privato, abilitato a rilasciare un certificato digitale tramite procedura di certificazione che segue standard internazionali e conforme alla normativa europea e nazionale in materia
-

# Certification Authorities



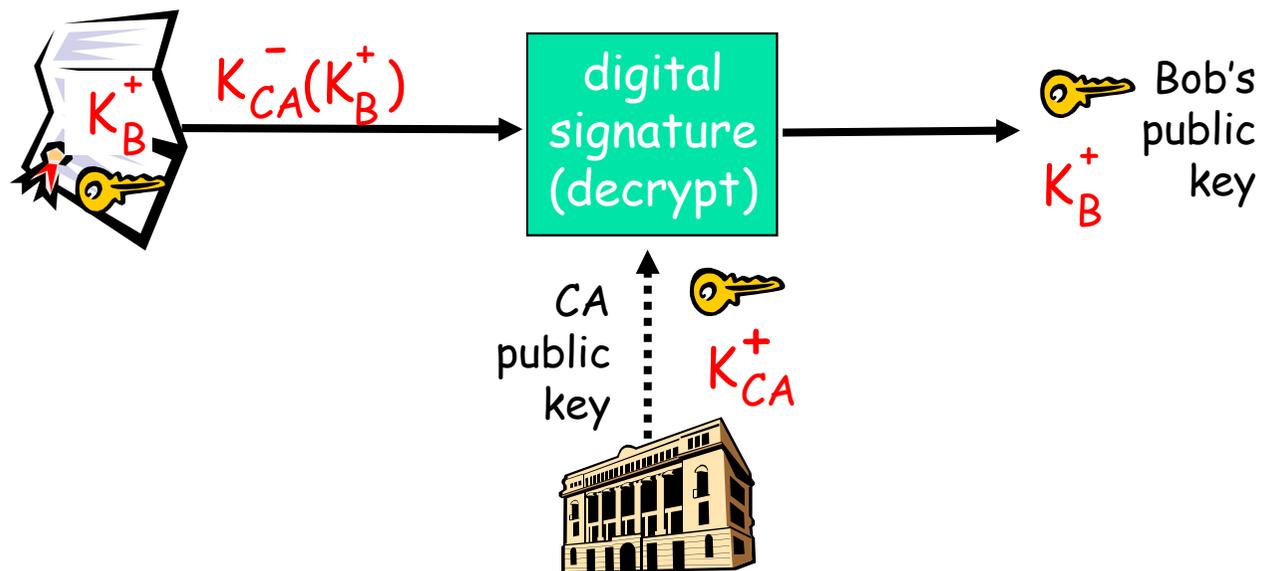
- Una CA associa (in modo sicuro) una chiave pubblica ad una particolare entità E
- E registra la sua chiave pubblica presso la CA
  - A tal fine, E fornisce la sua “prova di identità” alla CA
  - CA crea un “certificato” che collega E alla sua chiave pubblica
  - Un certificato contiene la chiave pubblica di E firmata digitalmente dalla CA: CA afferma che “Questa è la chiave pubblica di E”



# Certification Authorities



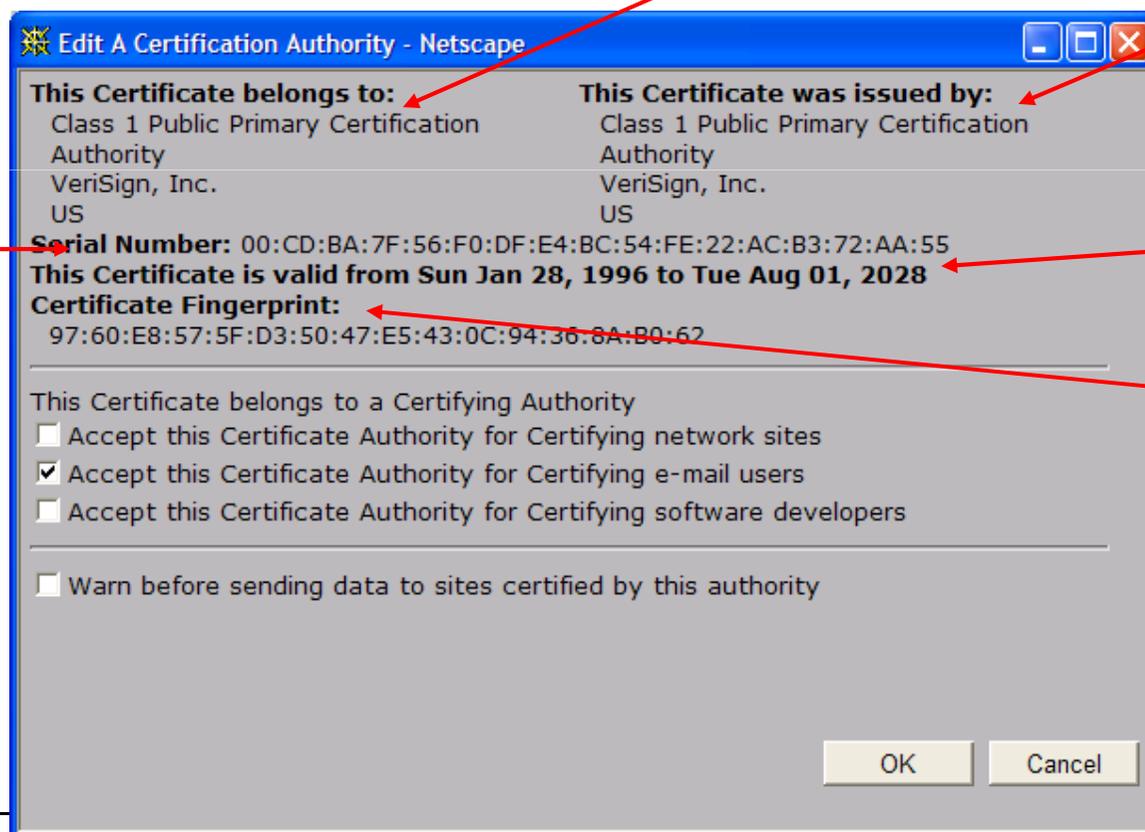
- quando Alice desidera la chiave pubblica di Bob:
  - ottiene il certificato di Bob (da Bob o da altri)
  - applica la chiave pubblica della CA al certificato di Bob, ed ottiene la chiave pubblica di Bob





# Un certificato contiene:

- Un numero di serie (unico tra quelli emessi dalla CA)
- Informazioni riguardo al possessore del certificato



- info su chi ha emesso il certificato
- date di validità
- firma digitale di chi ha emesso il certificato



# Autenticazione: protocollo ap1.0

obiettivo: Bob desidera che Alice provi la sua identità

Protocollo ap1.0: Alice dice "Io sono Alice"





# Protocollo ap1.0: fallimento

Fallimento: in una rete Bob non può "vedere" Alice, perciò Trudy può facilmente fingere di essere Alice

Protocollo ap1.0: Alice dice "Io sono Alice"





# Autenticazione: protocollo ap2.0

Protocollo ap2.0: Alice dice "Io sono Alice" in un pacchetto IP contenente il proprio indirizzo IP come indirizzo IP sorgente

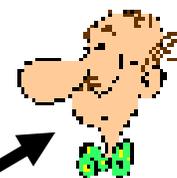




## Protocollo ap2.0: fallimento

Fallimento: Trudy può creare un pacchetto IP facendo lo "spoofing" dell'indirizzo IP di Alice

Protocollo ap2.0: Alice dice "Io sono Alice" in un pacchetto IP contenente il proprio indirizzo IP come indirizzo IP sorgente

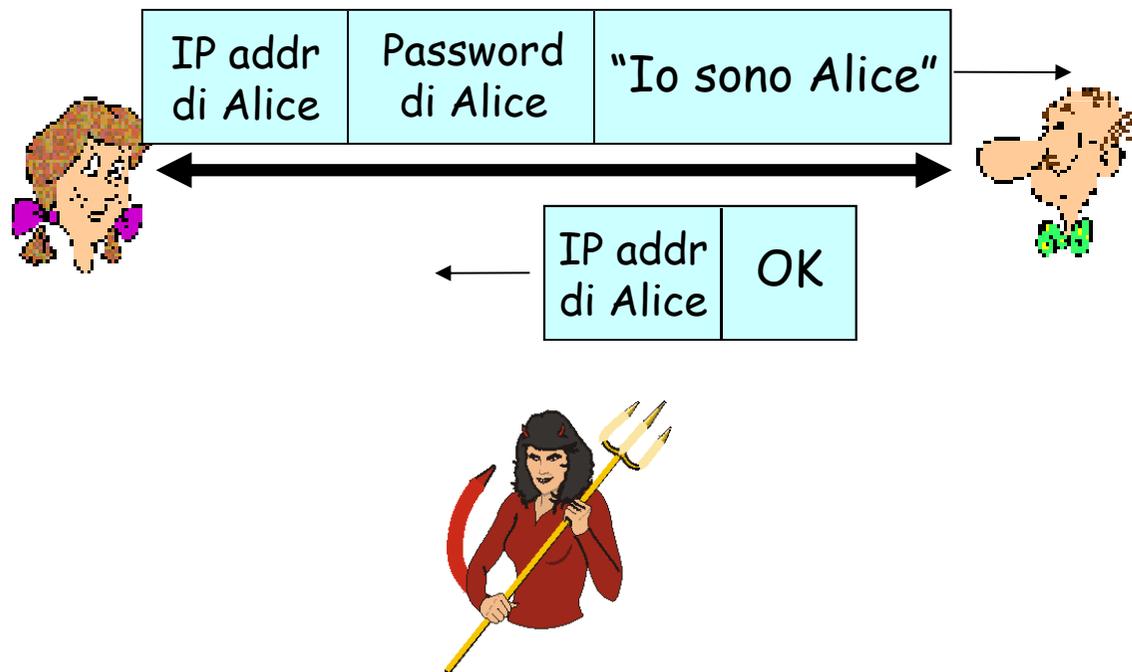


Indirizzo IP di Alice	"Io sono Alice"
--------------------------	-----------------



# Autenticazione: protocollo ap3.0

Protocollo ap3.0: Alice dice "Io sono Alice" e manda la sua password segreta per provare la sua affermazione

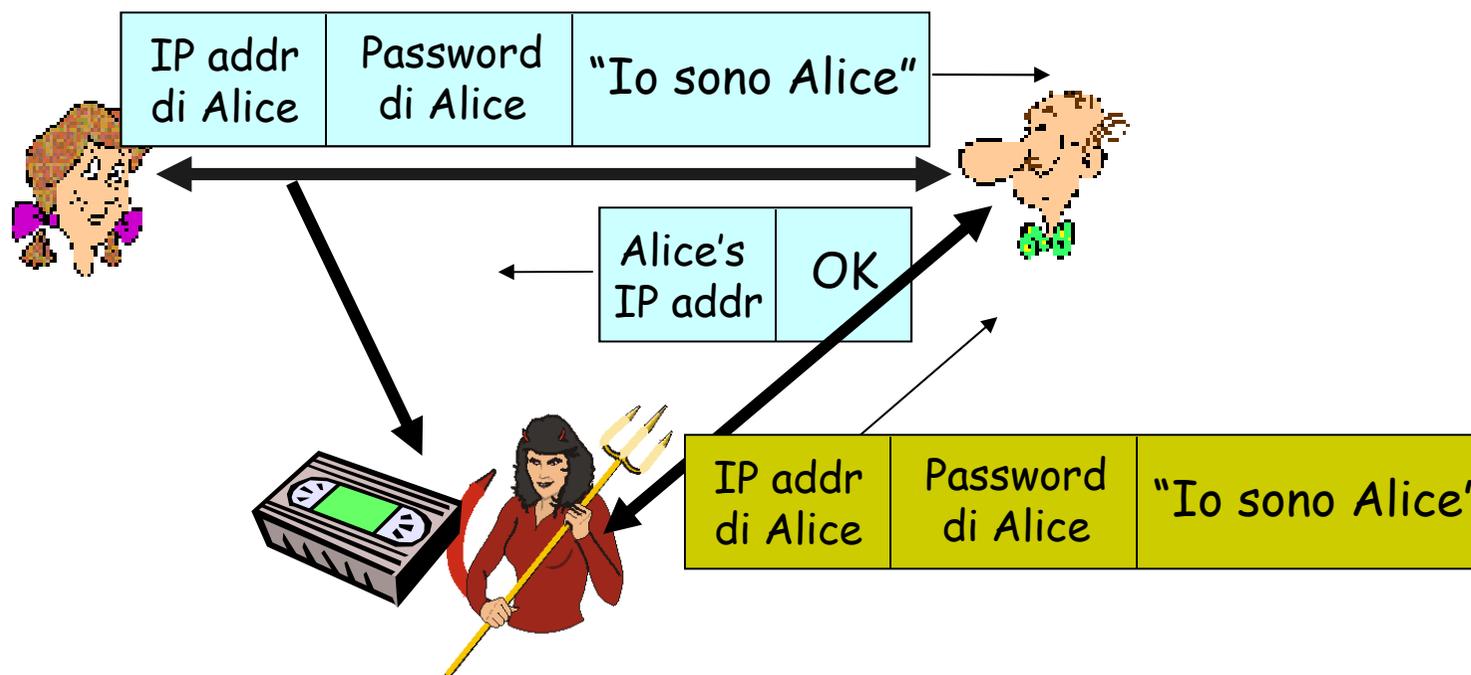




# Protocollo ap3.0: fallimento

Protocollo ap3.0: Alice dice "Io sono Alice" e manda la sua password segreta per provare la sua affermazione

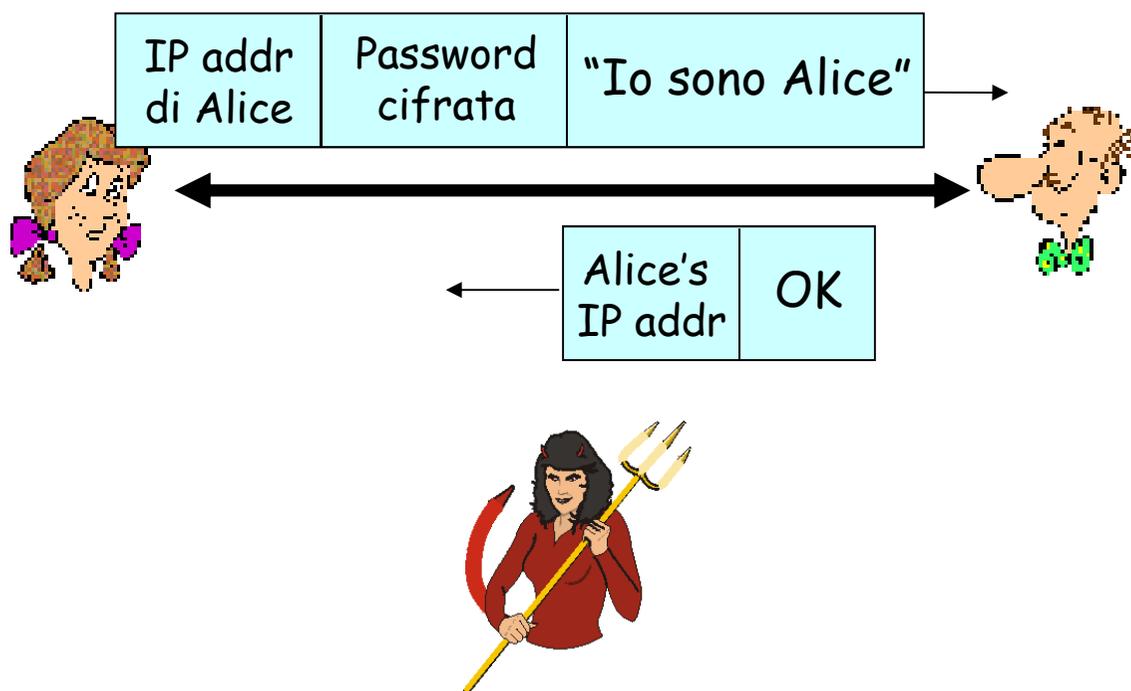
*Attacco playback*: Trudy registra il pacchetto di autenticazione di Alice e successivamente lo rimanda a Bob





# Autenticazione: protocollo ap3.1

Protocollo ap3.1: Alice dice "Io sono Alice" e manda la sua password segreta **cifrata** per provare la sua affermazione

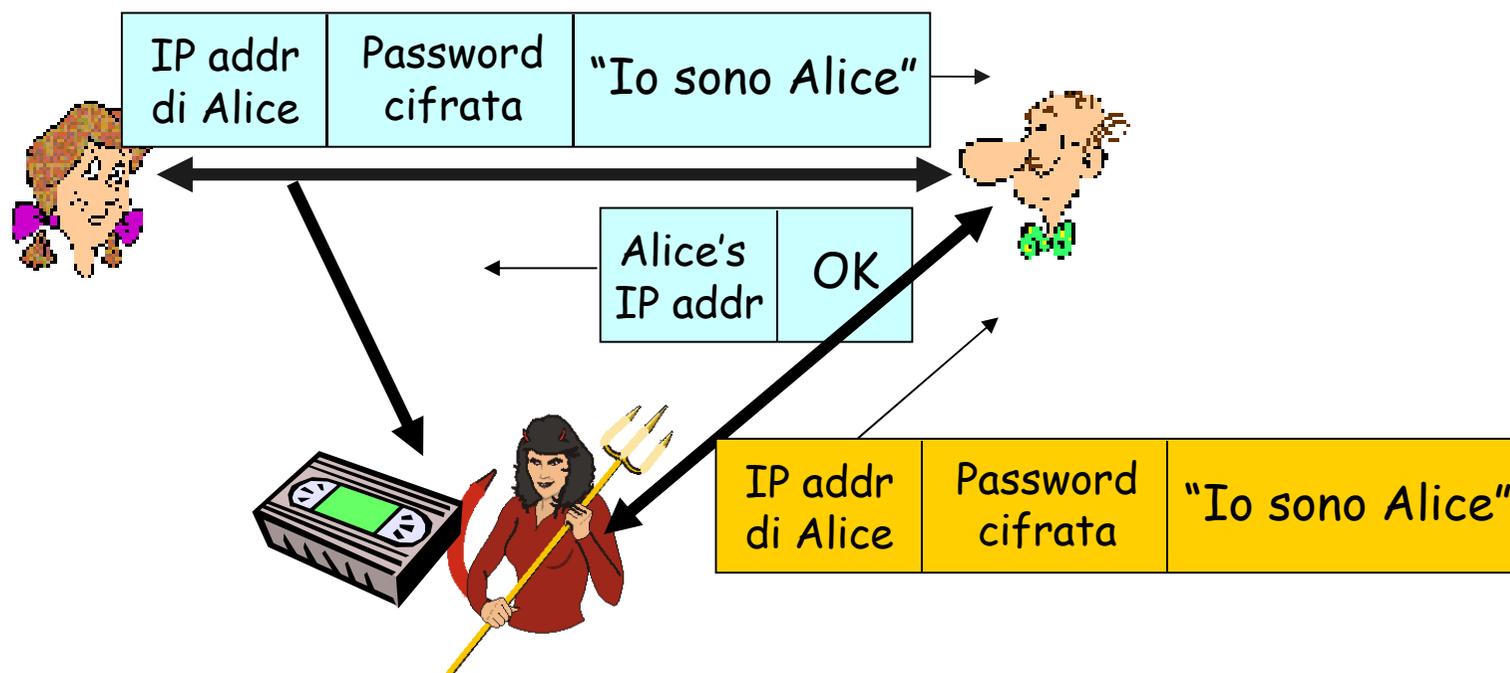




## Protocollo ap3.1: fallimento

Protocollo ap3.1: Alice dice "Io sono Alice" e manda la sua password segreta **cifrata** per provare la sua affermazione

**Attacco playback**: Trudy registra il pacchetto di autenticazione di Alice e successivamente lo rimanda a Bob (**funziona ancora!**)



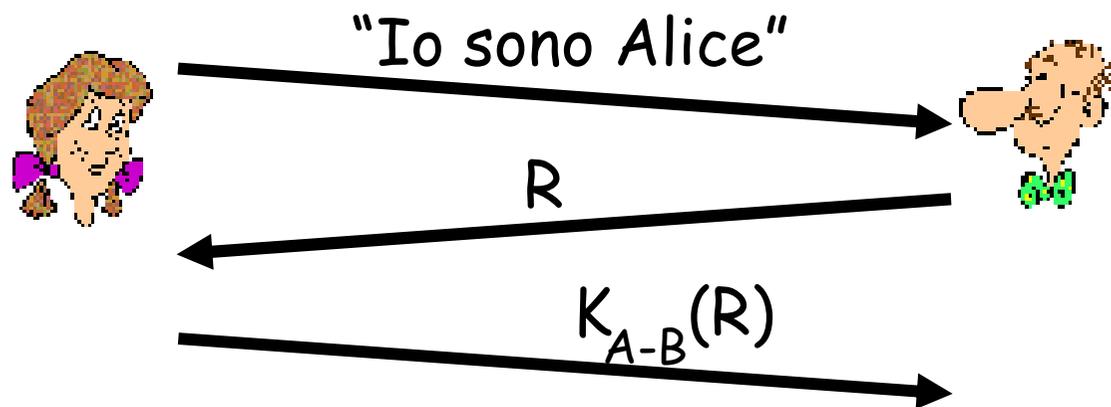


## Autenticazione: protocollo ap4.0

Obiettivo: impedire l'attacco playback

Soluzione: Nonce = numero  $R$  usato *una sola volta*

ap4.0: Bob invia ad Alice un **nonce**,  $R$   
Alice deve restituire  $R$ , cifrato con la sua chiave segreta



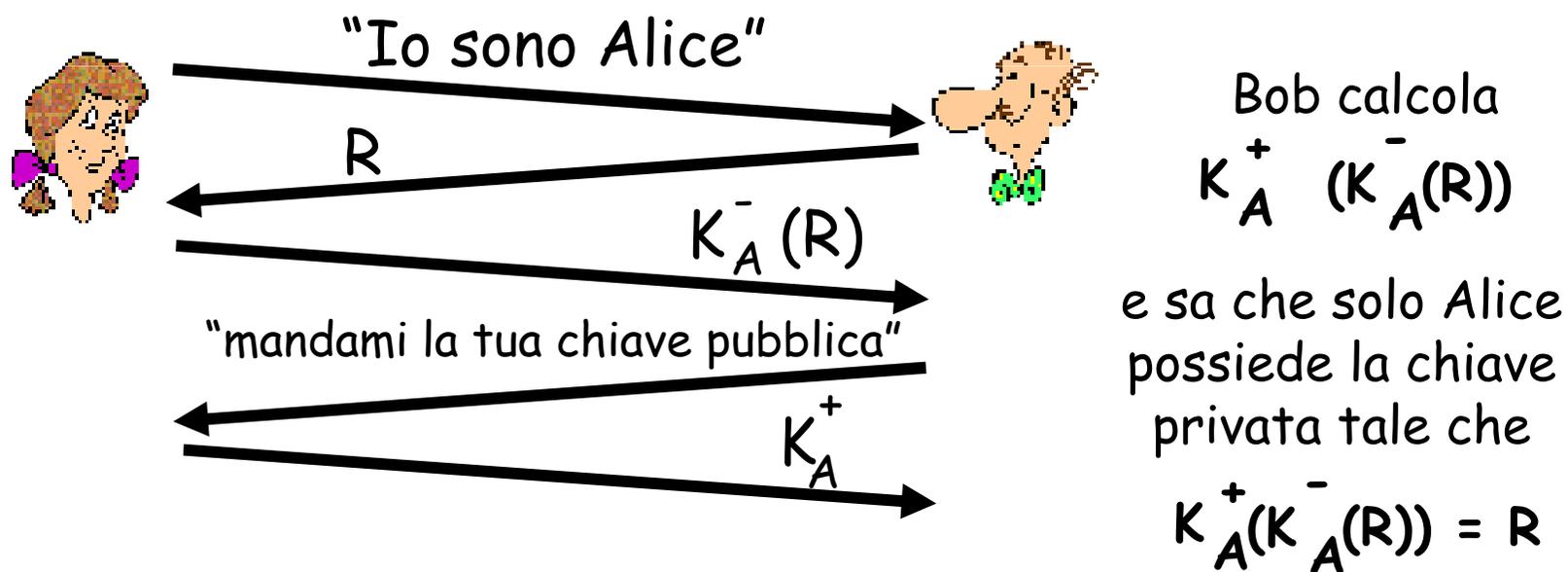
Problema da risolvere: quello della crittografia a chiave simmetrica,  
cioè lo scambio delle chiavi

---



# Autenticazione: protocollo ap5.0

ap5.0: Bob invia ad Alice un **nonce**,  $R$   
Alice deve restituire  $R$ , cifrato con la sua chiave privata

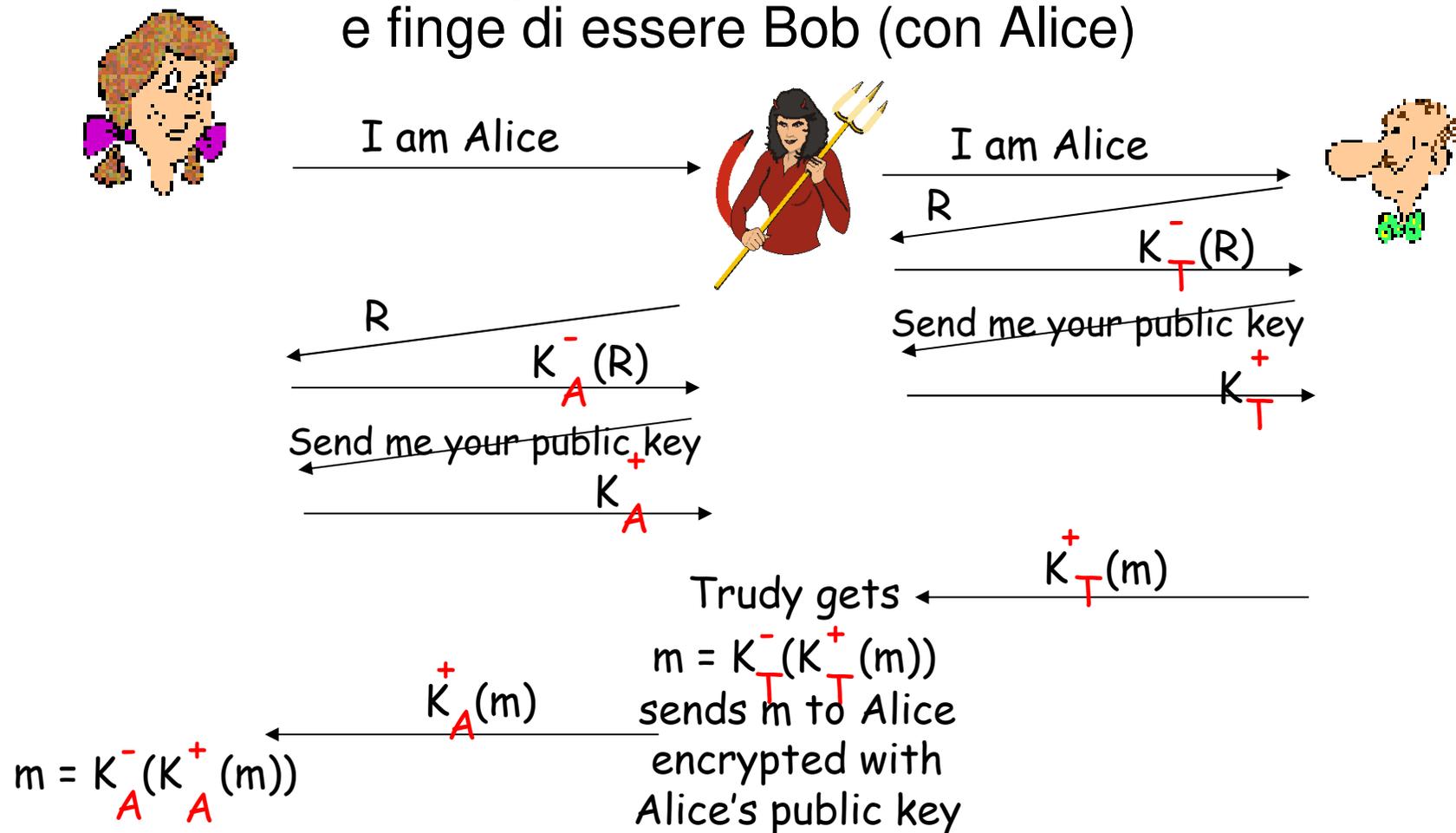




# Protocollo ap5.0: difetto di sicurezza

## Attacco "man in the middle":

Trudy finge di essere Alice (con Bob) e finge di essere Bob (con Alice)

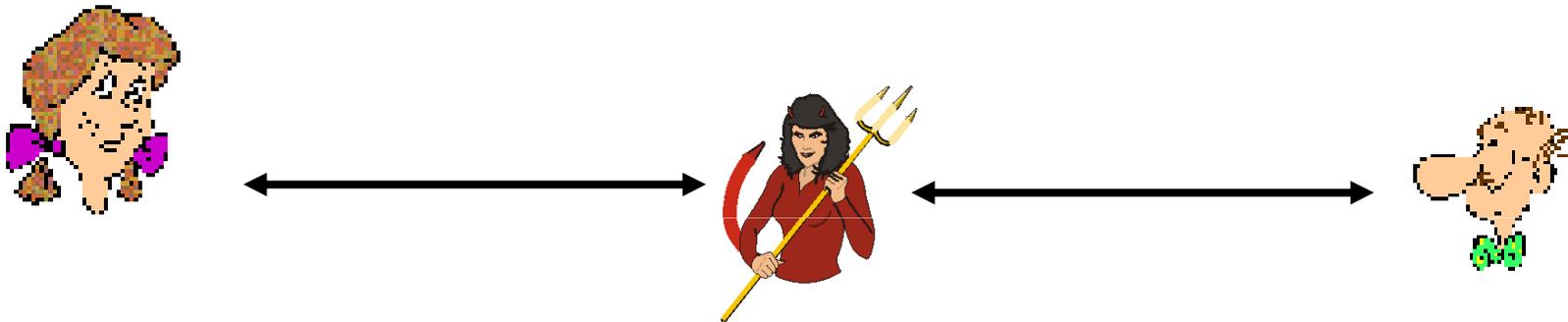


## Protocollo ap5.0: difetto di sicurezza (2)



### Attacco “man in the middle”:

Trudy finge di essere Alice (con Bob)  
e finge di essere Bob (con Alice)



Difficile da rilevare:

- Bob riceve tutto quello che Alice gli manda, e viceversa
- il problema è che anche Trudy riceve tutti i messaggi!

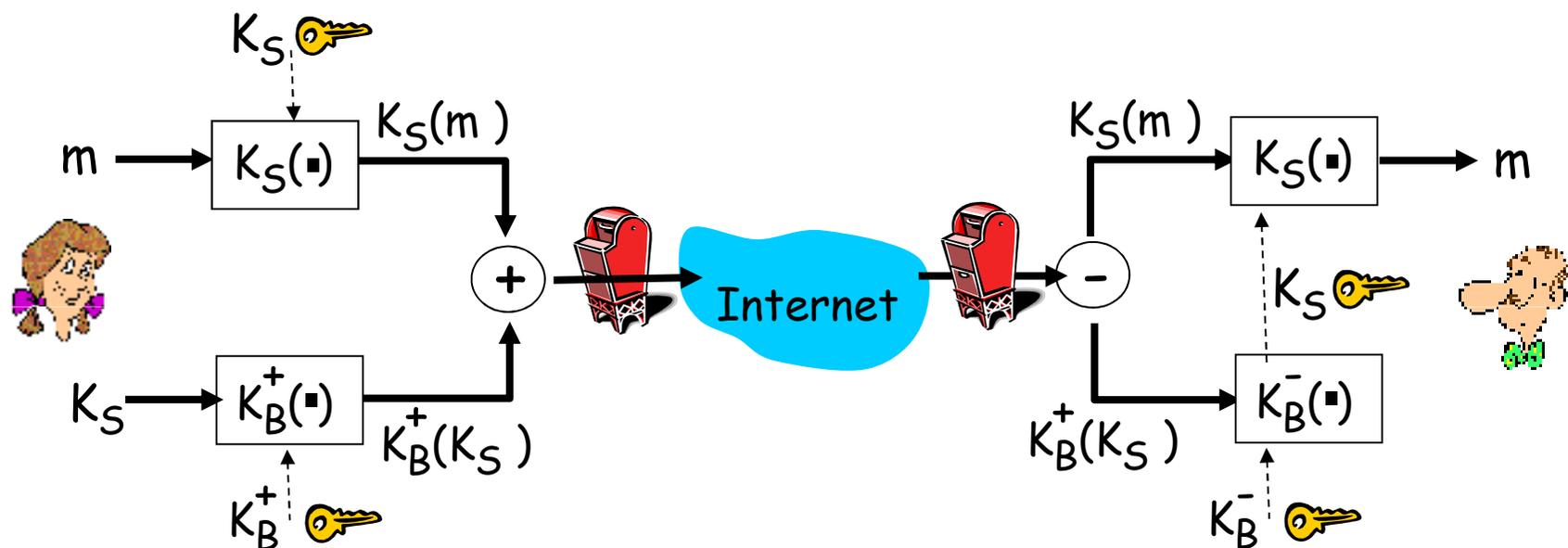
Il difetto di sicurezza di ap5.0 è legato alla distribuzione delle chiavi pubbliche

---



# E-mail sicura: caso 1 – lato Alice

Alice vuole inviare un messaggio confidenziale  $m$  a Bob



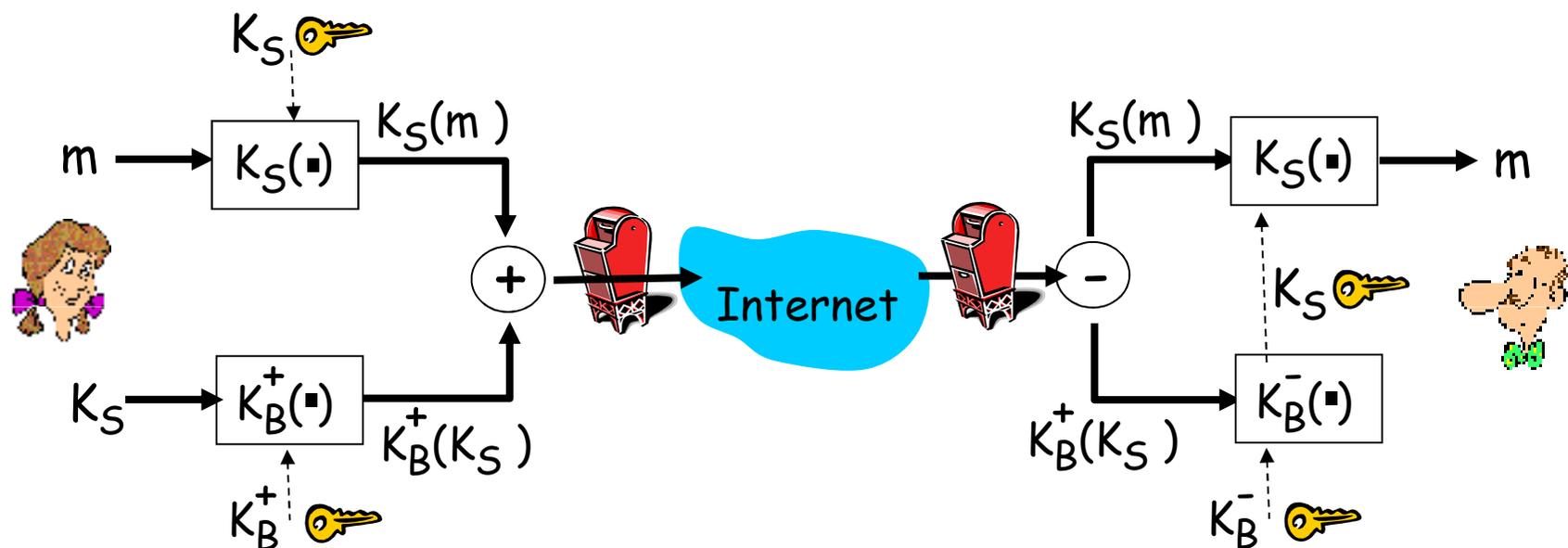
**Alice:**

- genera una chiave *simmetrica* privata  $K_S$
- cifra il messaggio  $m$  con  $K_S$
- cifra  $K_S$  con la chiave pubblica di Bob
- invia sia  $K_S(m)$  che  $K_B(K_S)$  a Bob



# E-mail sicura: caso 1 – lato Bob

Alice vuole inviare un messaggio confidenziale  $m$  a Bob



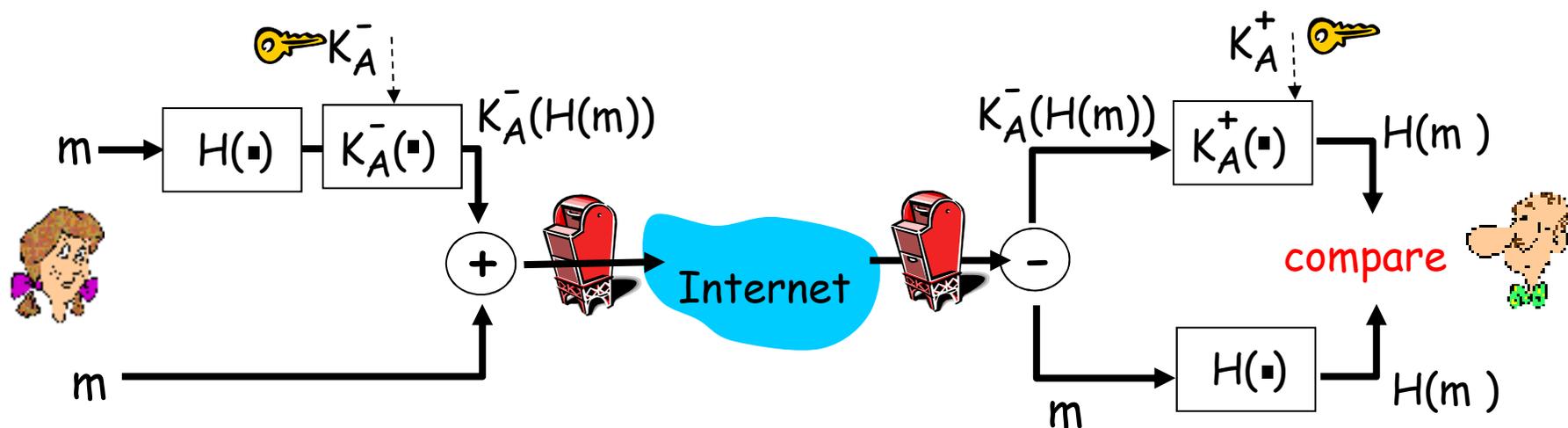
**Bob:**

- ❑ usa la sua chiave privata per decifrare e recuperare  $K_S$
- ❑ usa  $K_S$  per decifrare  $K_S(m)$  per recuperare  $m$



# E-mail sicura: caso 2

Alice vuole che Bob possa essere sicuro della identità del mittente e della integrità del messaggio ricevuto

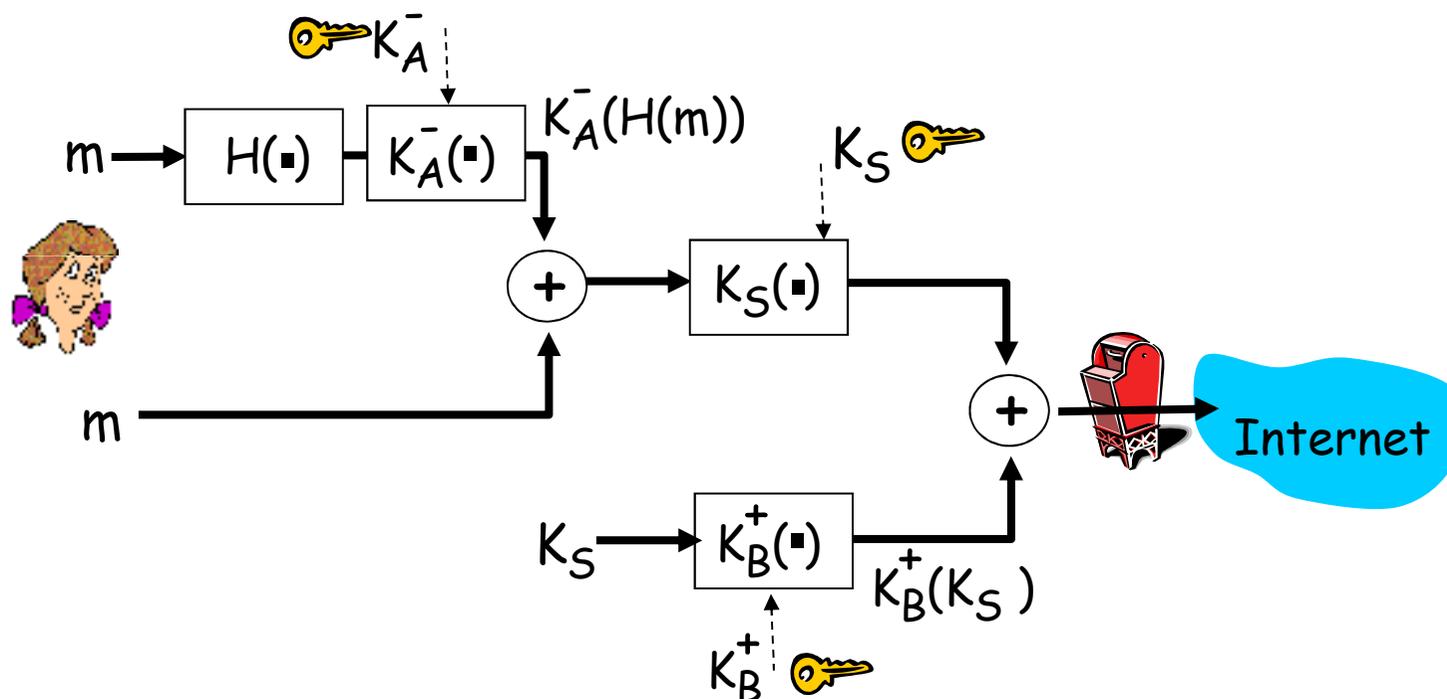


- Alice appone la sua firma digitale al messaggio
- invia il messaggio (in chiaro) e la firma digitale



# E-mail sicura: caso 3

Alice vuole inviare un messaggio confidenziale a Bob e vuole che Bob possa essere sicuro della identità del mittente e della integrità del messaggio ricevuto



**Alice usa 3 chiavi:** la sua chiave privata, la chiave pubblica di Bob, la chiave simmetrica appena generata  $K_S$