



Reti di Calcolatori I

Prof. Roberto Canonico

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

A.A. 2020-2021

Sicurezza nella comunicazione in rete: tecniche crittografiche

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



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



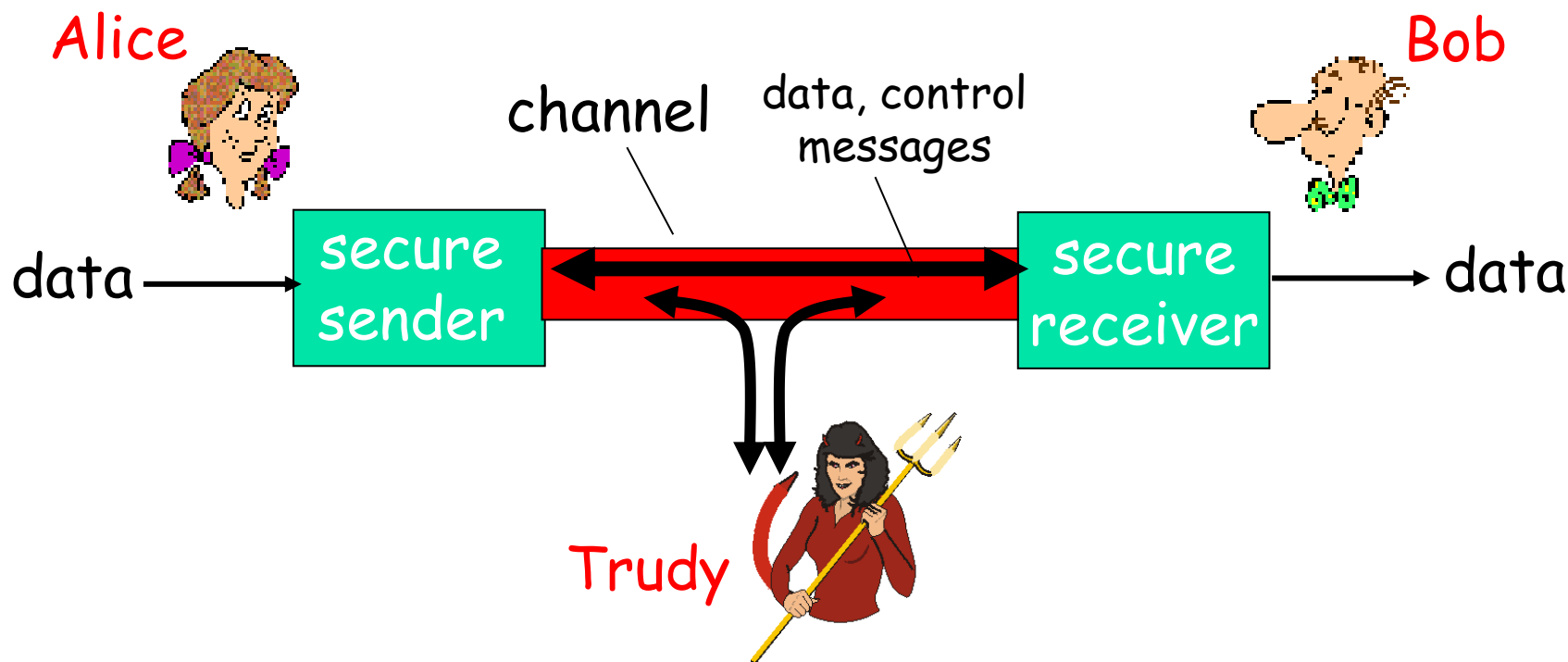
Sicurezza della comunicazione in rete

- La sicurezza della comunicazione in rete coinvolge diversi aspetti
- **Riservatezza:** solo il mittente ed il destinatario “legittimo” dovrebbero essere in grado di comprendere il contenuto del messaggio
 - Le tecniche crittografiche servono innanzitutto a proteggere la confidenzialità della comunicazione
 - Il mittente effettua un’operazione di cifratura del messaggio (*encryption*) ed il ricevente un’operazione duale di decifratura (*decryption*)
- **Integrità dei messaggi:** mittente e destinatario di un messaggio desiderano essere certi che i messaggi scambiati non siano alterati da una terza parte senza che se ne possano accorgere
- **Autenticazione:** mittente e destinatario di un messaggio desiderano essere reciprocamente sicuri dell’identità della controparte
- **Accessibilità e disponibilità dei servizi:** i servizi offerti in rete devono essere protetti da eventuali attacchi (es. attacchi *Denial of Service*, DoS)

Amici e nemici: Alice, Bob, Trudy



- Alice e Bob sono le due parti che intendono comunicare in maniera sicura attraverso la rete
 - Potrebbero essere programmi client e server, o dispositivi (es. router) ...
- Trudy è una terza parte che può ascoltare i messaggi scambiati da Alice e Bob ed eventualmente alterarli, cancellarli o crearne di falsi



Esempi di comportamenti malevoli



La terza parte Trudy può:

- intercettare i messaggi inviati da Alice a Bob (*eavesdropping*)
- inviare pacchetti con il campo source address fasullo (*spoofing*) in modo da fingere di essere Alice
 - inserire messaggi fasulli nel flusso della comunicazione da Alice a Bob (*eavesdropping + spoofing*)
- dirottare la comunicazione tra Alice e Bob, piazzandosi “in mezzo”, ad es. fingendo con Alice di essere Bob e con Bob di essere Alice (*hijacking*)
- impedire al servizio offerto da Bob di essere utilizzabile (es. sovraccaricando le risorse di Bob) (*denial of service*)

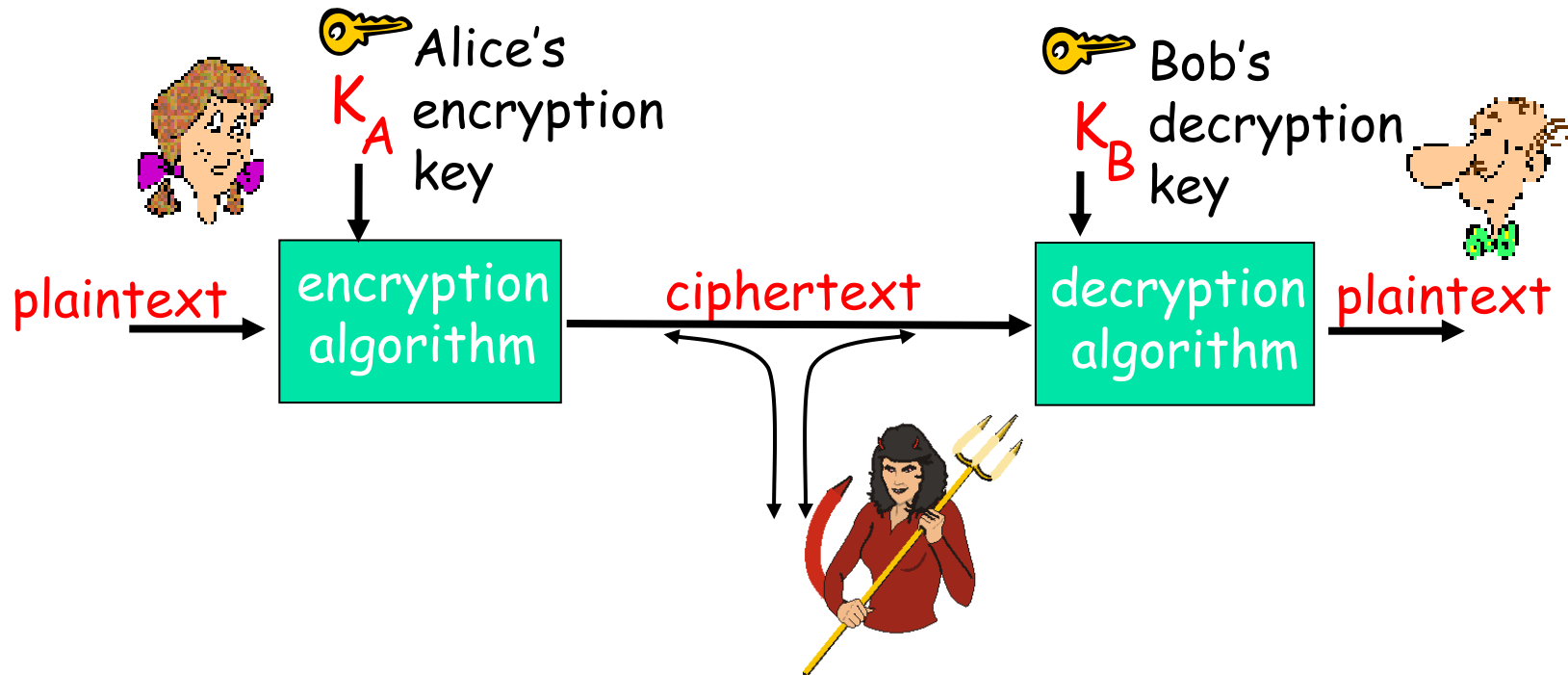


Crittografia: concetti generali

- Un *sistema crittografico* è un sistema in grado di cifrare e decifrare un messaggio attraverso l'uso di un *algoritmo* e di una *chiave* (una stringa alfanumerica)
 - Il messaggio da cifrare è detto “testo in chiaro” (*plaintext*) mentre il risultato dell'algoritmo crittografico è detto “testo cifrato” (*ciphertext*)
-



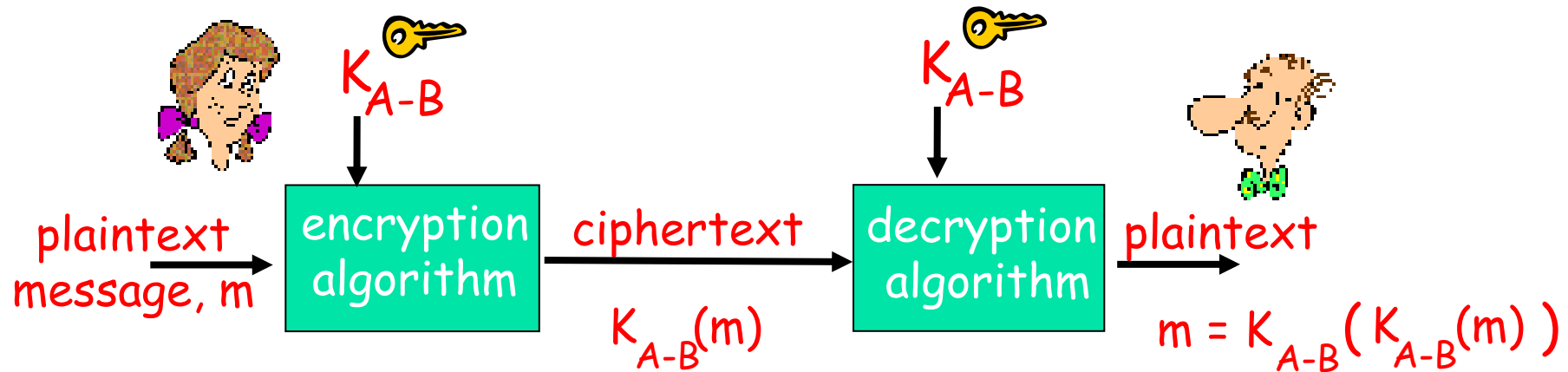
Crittografia: terminologia



- Crittografia a **chiave simmetrica**:
 - mittente e destinatario usano la stessa chiave (segreto condiviso) per *encryption* e *decryption*
- Crittografia a **chiave pubblica**:
 - la chiave per la *encryption* è *pubblica* (nota a tutti), la chiave per la *decryption* è *segreta* (privata)



Crittografia a chiave simmetrica



Crittografia a chiave simmetrica: Bob ed Alice entrambi conoscono la chiave crittografica (simmetrica) K_{A-B}

- Come fanno Bob ed Alice a mettersi d'accordo sul valore della chiave? Lo scambio deve avvenire in maniera sicura (es. in un incontro di persona...)



Crittografia a chiave simmetrica: un esempio

Cifrario per sostituzione: unità di testo del plaintext sono sostituite con corrispondenti sequenze di simboli nel testo cifrato secondo uno schema regolare

In particolare, **cifrario monoalfabetico:** una corrispondenza fissa tra ciascuna lettera dell'alfabeto in chiaro ed una lettera dell'alfabeto cifrato

```
plaintext:  abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
           ↓                                     ↓
ciphertext:  mnbvcxzasdfghjklpoiuytrewq
```

Es.: plaintext: bob, i love you. alice
ciphertext: nkn, s gktc wky. mgsbc

Q: Quanto è difficile decifrare questo codice ?

- con attacco a forza bruta: $26! \approx 2^{88}$ tentativi
- con critto-analisi, abbastanza facile
 - pattern ricorrenti ed analisi statistica delle frequenze di occorrenza



Apparecchio crittografico meccanico (1922)

- L' M94 era un apparecchio crittografico utilizzato dalle forze armate degli Stati Uniti, composto da diversi dischi letterali disposti come un cilindro
- Ufficialmente adottato nel 1922, è rimasto in uso fino al 1945





Cifrari a blocchi

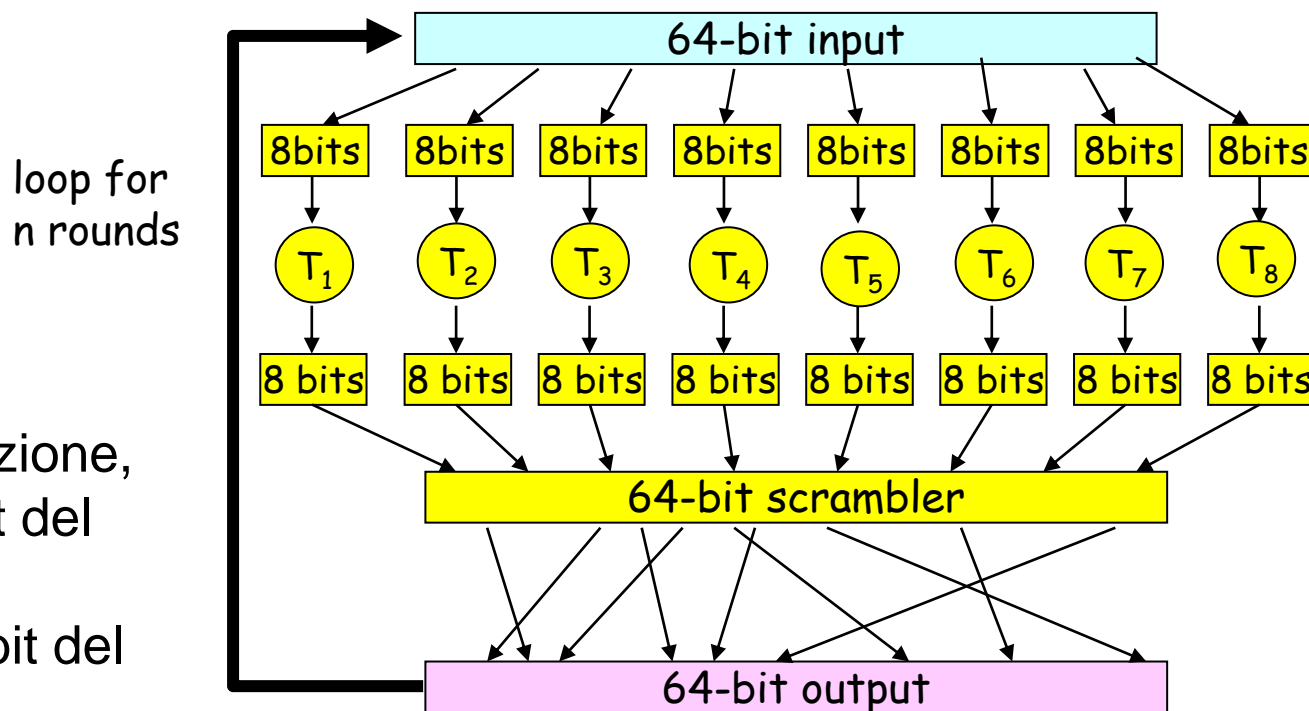
- Un blocco di k bit del testo in chiaro è codificato con altri k bit nel testo in codice secondo uno schema fisso

- Es.: $k=3$

000	→	110	001	→	111	010	→	101	011	→	100
100	→	011	101	→	010	110	→	000	111	→	001

- Il messaggio (010)(110)(001)(111) è codificato in (101)(000)(111)(001)
- Quante corrispondenze si possono creare con $k=3$ bit ?
N. permutazioni di $2^k=8$ oggetti (triple di bit) = $2^k! = 8! = 40320$
- Per una maggiore sicurezza occorre aumentare k (es. $k=64$)
- Per valori di k grandi, difficoltà di implementazione: cifratura e decifratura richiedono una tabella di 2^k elementi in memoria
- Elevati valori di k ottenuti per composizione di valori più piccoli

Cifrari a blocchi



- dopo una iterazione, ogni singolo bit del testo in chiaro influenza otto bit del testo cifrato
- Se la funzione di rimescolamento è fissa, la chiave è costituita dalle 8 tabelle di permutazione
- Esempi di cifrari a blocchi: DES, 3DES, AES

Crittografia a chiave simmetrica: DES



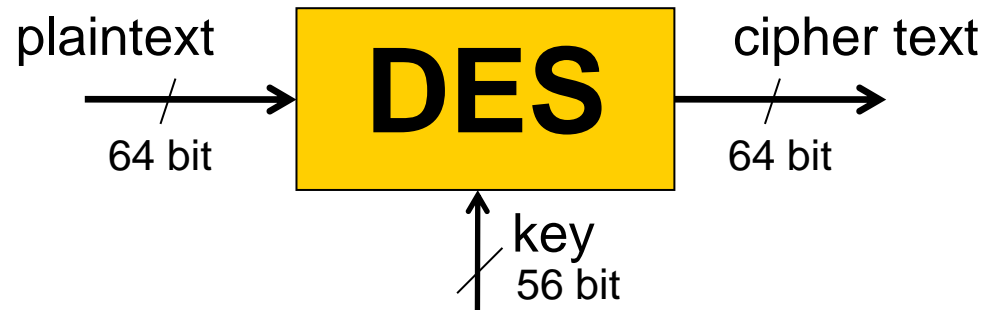
DES: Data Encryption Standard

- US encryption standard [NIST 1993]
- 56-bit symmetric key, 64-bit plaintext input
- How secure is DES?
 - DES Challenge: 56-bit-key-encrypted phrase (“Strong cryptography makes the world a safer place”) decrypted (brute force) in 4 months
 - no known “backdoor” decryption approach
- making DES more secure:
 - use three keys sequentially (3-DES) on each datum
 - use cipher-block chaining



DES: caratteristiche generali

- DES codifica blocchi di 64 bit e usa una chiave di 56 bit
- Chiave da 56 bit + 8 bit di parità



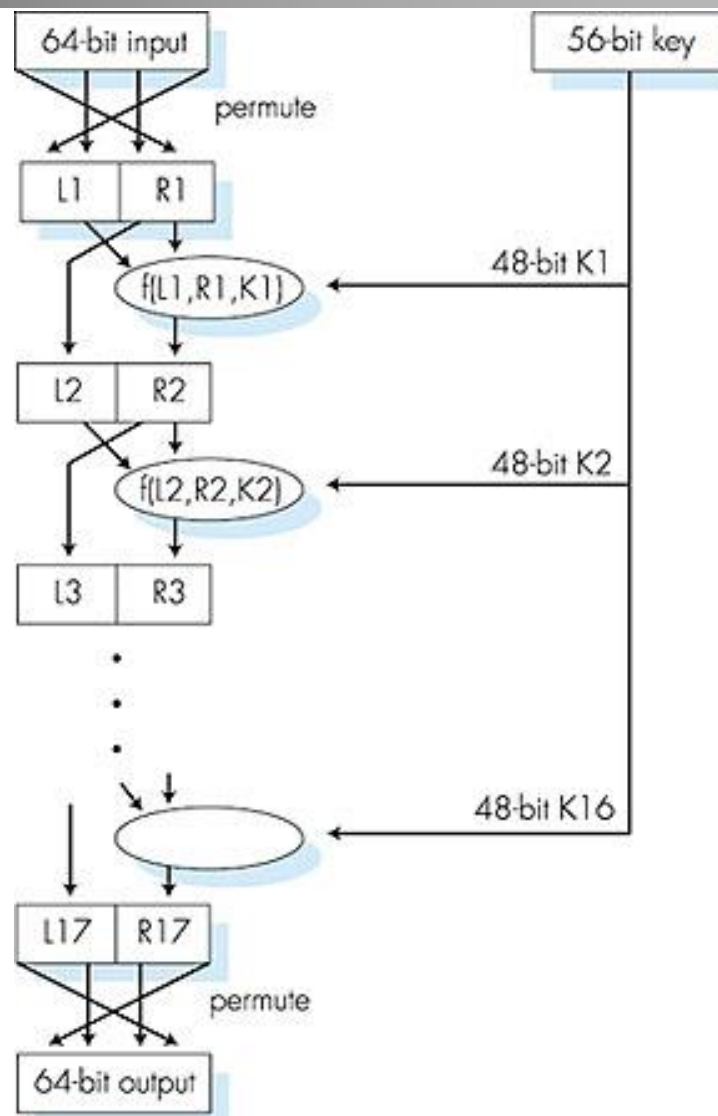
- La chiave è memorizzata su 64 bit, con l'ottavo, il 16-esimo, ... , il 64-esimo bit calcolati come bit di parità per i 7 bit precedenti

Symmetric key crypto: DES



Funzionamento del DES

- Permutazione iniziale
- 16 iterazioni in cui si applica una funzione f , usando in ciascuna iterazione 48 bit della chiave
- permutazione finale



AES: Advanced Encryption Standard

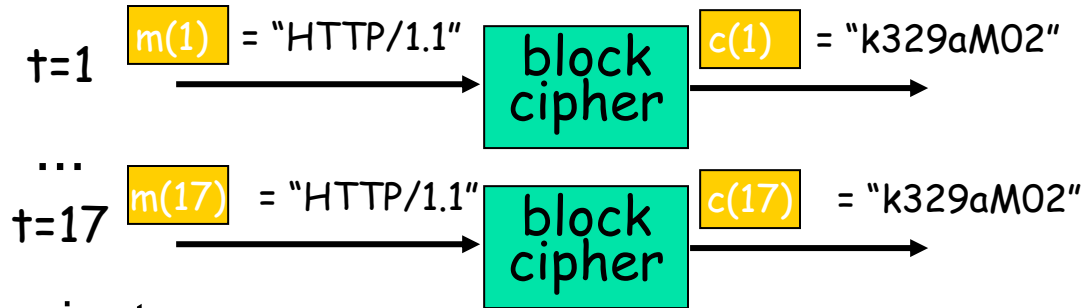


- Standard NIST standard, ha sostituito DES
- Elabora i dati a blocchi da 128 bit
- Chiavi da 128, 192, o 256 bit
- Un elaboratore in grado di decifrare DES con un attacco a forza bruta in 1 secondo, impiegherebbe 149 trilioni di anni a decifrare AES
- Una stima più aggiornata: le ultime investigazioni su AES suggeriscono che con un calcolatore in grado di provare un miliardo (10^9) di chiavi al secondo, occorrerebbero in media, usando tecniche avanzate, almeno due miliardi di anni per decifrare un testo cifrato da AES con chiave a 128 bit

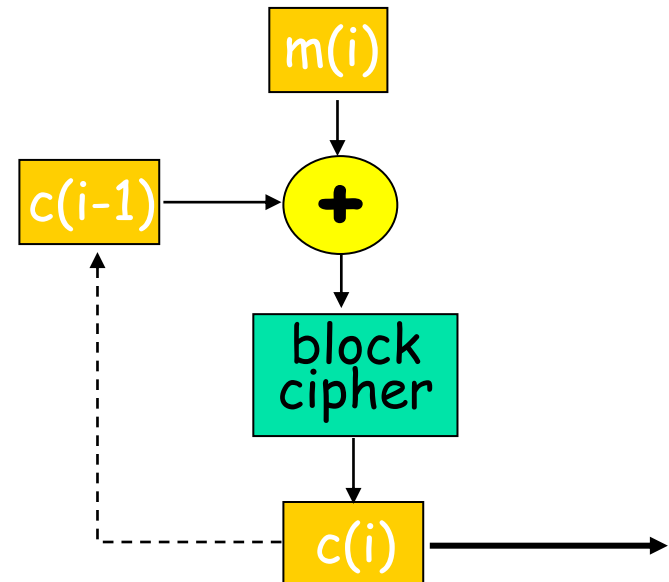


Cipher Block Chaining

- Debolezza dei cifrari a blocchi: blocchi in input uguali producono lo stesso testo cifrato



- Si prestano a crittoanalisi
- Per ovviare a questo inconveniente si usa la tecnica detta **cipher block chaining**:
 $c(i)$ si calcola con l'algoritmo di cifratura applicato al blocco ottenuto tramite XOR del testo in chiaro $m(i)$ con il blocco di testo cifrato $c(i-1)$ calcolato sull'input precedente
 - $c(0)$ trasmesso in chiaro (vettore di inizializzazione)



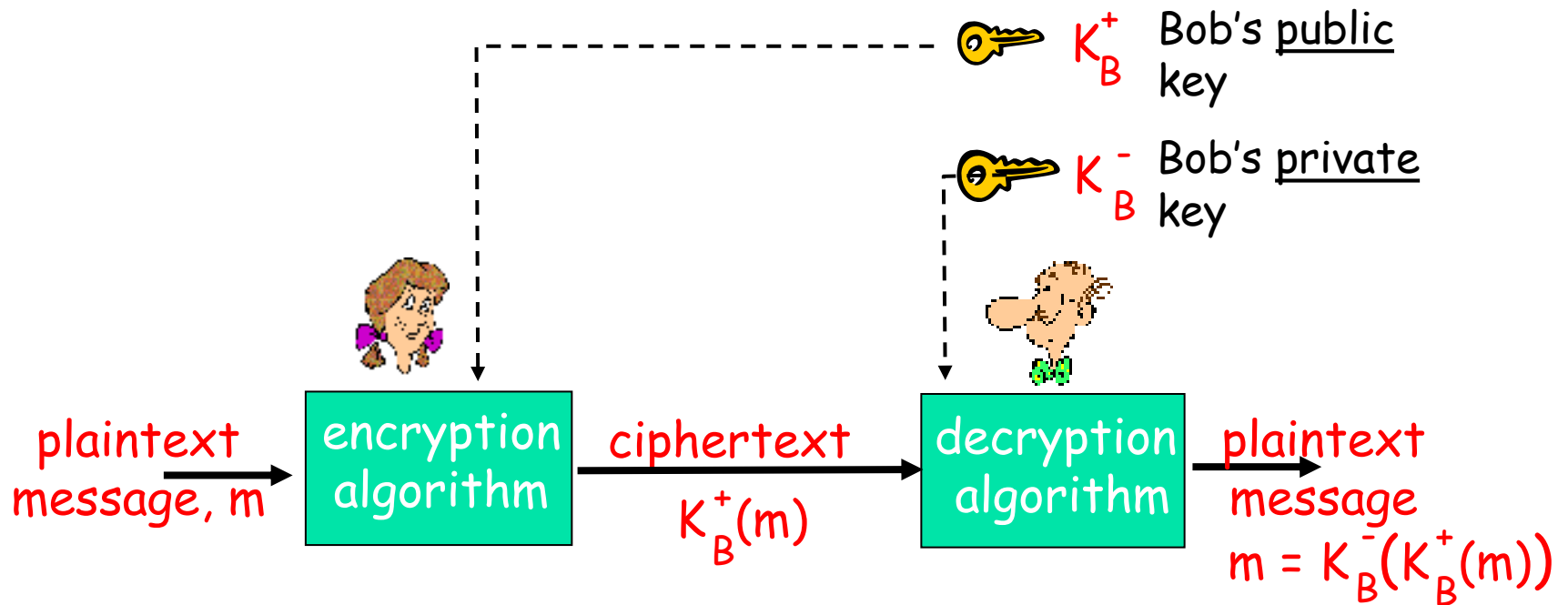
Crittografia a chiave pubblica



- Approccio radicalmente differente
 - Diffie-Hellman 1976, RSA78
 - Mittente e destinatario non condividono una chiave segreta
 - *Chiave pubblica* usata per la cifratura, nota a tutti
 - *Chiave privata* usata per la decifratura, nota solo al destinatario
-



Public key cryptography





Algoritmi di cifratura a chiave pubblica

Requisiti:

- 1 Occorre trovare una coppia di chiavi $K_B^+(\cdot)$ and $K_B^-(\cdot)$ tali che

$$K_B^-(K_B^+(m)) = m$$

- 2 Nota la chiave pubblica K_B^+ , dovrebbe essere impossibile calcolare la chiave privata K_B^-

Algoritmo RSA: Rivest, Shamir, Adleman



RSA: scelta delle chiavi

1. Si scelgono due numeri primi grandi p e q
2. Si calcolano $n = p \cdot q$, $z = (p-1)(q-1)$
3. Si sceglie un numero e ($e < n$)
che non abbia fattori comuni con z
(e, z "relativamente primi")
4. Si sceglie un numero d
tale che $e \cdot d - 1$ sia esattamente divisibile per z
(in altre parole: $e \cdot d \bmod z = 1$)
5. La chiave pubblica è (n, e) , la chiave privata è (n, d)
 $\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{K_B^+}$ $\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{K_B^-}$



RSA: cifratura e decifratura

0. Dati (n,e) ed (n,d) come calcolati precedentemente ...

1. La cifratura del testo in chiaro m (*stringa di bit*) si effettua calcolando

$$c = m^e \bmod n \text{ (resto della divisione di } m^e \text{ per } n)$$

2. La decifratura del testo cifrato c (*stringa di bit*) si effettua calcolando

$$m = c^d \bmod n \text{ (resto della divisione di } c^d \text{ per } n)$$

$$m = \underbrace{(m^e \bmod n)}_c^d \bmod n$$



RSA: esempio

Bob sceglie $p=5, q=7 \rightarrow n=35, z=24$

$e=5$ (in modo che e, z siano relativamente primi)

$d=29$ (in modo che $e \cdot d - 1$ sia divisibile per z)

Bob rende pubblica la coppia $(n,e)=(35,5)$
e mantiene segreto il valore $d=29$

cifratura:	<u>lettera</u>	<u>m</u>	<u>m^e</u>	<u>$c = m^e \bmod n$</u>
	I	12	248832	17
decifratura:	<u>c</u>	<u>c^d</u>	<u>$m = c^d \bmod n$</u>	<u>lettera</u>
	17	481968572106750915091411825223071697	12	I



RSA: perchè $m = (m^e \bmod n)^d \bmod n$?

Un utile risultato di teoria dei numeri

Se p e q sono primi ed $n = p \cdot q$, allora:

$$\underline{x^y \bmod n = x^{y \bmod (p-1)(q-1)} \bmod n}$$

$$\begin{aligned} (m^e \bmod n)^d \bmod n &= m^{e \cdot d} \bmod n \\ &= m^{e \cdot d \bmod (p-1)(q-1)} \bmod n \\ &\quad \text{(grazie al risultato di sopra)} \\ &= m^1 \bmod n \end{aligned}$$

(dal momento che $e \cdot d$ è stato scelto in modo che la sua divisione per $(p-1)(q-1)$ dia resto 1)

$$= m$$



RSA: un'altra proprietà notevole

$$\underbrace{K_B^-(K_B^+(m))}_{\text{Si usa prima la chiave pubblica e poi la privata}} = m = \underbrace{K_B^+(K_B^-(m))}_{\text{Si usa prima la chiave privata e poi la pubblica}}$$

Si usa prima la
chiave pubblica
e poi la privata

Si usa prima la
chiave privata e
poi la pubblica

*Il risultato è lo stesso →
le due chiavi possono
intertirsi i ruoli*



RSA: discussione

- La robustezza di RSA dipende dal fatto che non sono noti algoritmi veloci per la fattorizzazione di numeri interi grandi
- Anche se $n = p \cdot q$ è noto, i due fattori p e q non sono velocemente determinabili, di conseguenza non è velocemente determinabile z , da cui si potrebbe facilmente risalire alla componente d della chiave privata, nota la parte e della chiave pubblica
- L'elevamento a potenza richiesto da RSA è computazionalmente oneroso
 - Algoritmi a chiave simmetrica come DES sono 100-1000 volte più veloci di RSA
 - Nelle comunicazioni su rete, RSA è spesso usato in combinazione con DES o 3DES