Mensa Italia – The High "IQ" Society

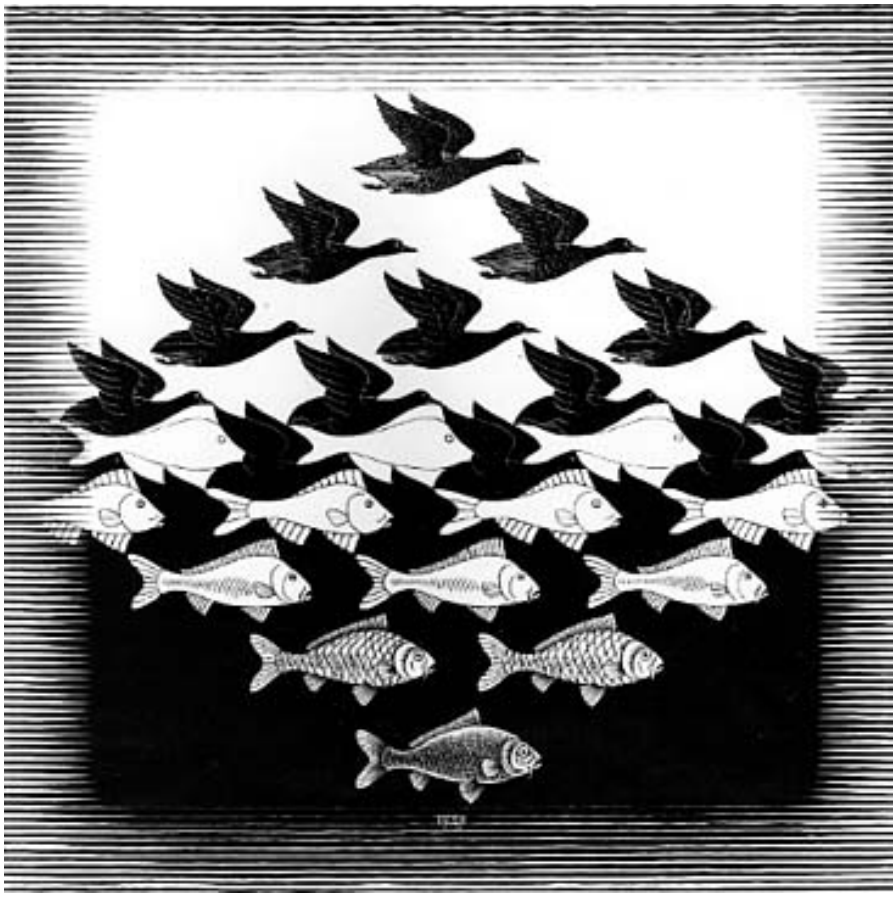
in collaborazione con l'albergo "La Fenice"

Introduzione alla crittografia

Come affidare la privacy ad un'equazione matematica

di Enrico Zimuel

14 Luglio 2002 – Francavilla al Mare (CH)



Sommario

- Che cos'è la crittografia?
- Cenni storici
- Cifrari manuali: sostituzioni, trasposizioni
- Cifrari a sostituzione monoalfabetica, polialfabetica
- La crittoanalisi statistica
- Esiste il cifrario perfetto? Il cifrario di Vernam one-time pad
- La crittografia moderna: I cifrari simmetrici
- I cifrari Des, 3Des, Blowfish, Rijndael (AES)
- Il problema della trasmissione della chiave
- I cifrari asimmetrici o a chiave pubblica
- Il cifrario RSA
- I cifrari ibridi: Il metodo di Diffie-Hellman per lo scambio delle chiavi
- Il software PGP
- La firma digitale e le funzioni hash
- I keyserver e le certification authority

enrico@enricozimuel.net

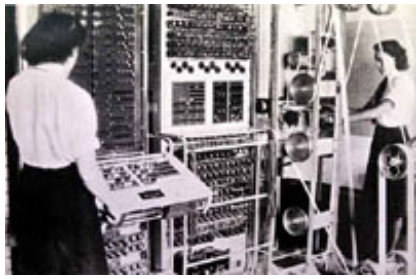
Che cos'è la crittografia?

- La **crittografia** (dal greco *kryptos*, nascosto, e g*raphein*, scrivere) è la scienza che si occupa dello studio delle scritture "segrete".
- E' nata come **branca della matematica e dell'informatica** grazie all'utilizzo di tecniche di teoria dei numeri e di teoria dell'informazione.
- "Insieme delle tecniche che consentono di realizzare la cifratura di un testo e la decifrazione di un crittogramma"
  Dizionario Garzanti (1972)
- Alcune definizioni curiose:
  "Sistema segreto di scrittura in cifra o codice",
  "Gioco enigmistico consistente in una specie di rebus letterale particolarmente oscuro"
  Dizionario Zingarelli (1987)
- La crittografia fa parte della **crittologia** che racchiude in se un'altra scienza, la **crittoanalisi** (crittologia= crittografia + crittoanalisi)

Origini storiche

- La **crittografia** è una scienza antichissima utilizzata nell'antichità per nascondere messaggi tra regnanti, imperatori, nobili.
- La **scitala lacedemonica** è un antico esempio di un sistema per cifrare messaggi tramite l'utilizzo di un bastone cilindrico, cifrario a trasposizione (secondo gli scritti di Plutarco, in uso dai tempi di Licurgo, IX sec a.C.).

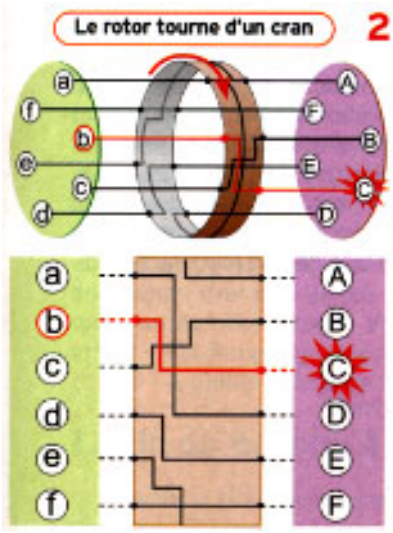
- Il periodo d'oro della crittologia è relativo alla seconda guerra mondiale quando **Alan Turing**, il padre dell'informatica teorica, insieme al gruppo di ricerca del Bletchley Park formalizzò la matematica necessaria per uno studio sistematico dei cifrari.
- Nasce nel 1943 in Inghilterra il primo elaboratore elettronico il **Colossus** utilizzato per decifrare le comunicazioni "segrete" dei nemici.

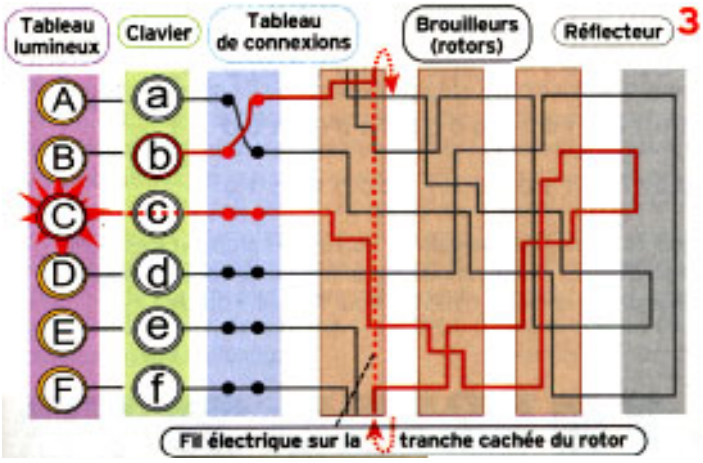


- **Claude Shannon**, l'ideatore della moderna teoria dell'informazione, che nel 1949 pubblicò un articolo rimasto nella storia "Communication theory of secrecy systems".

La macchina cifrante Enigma

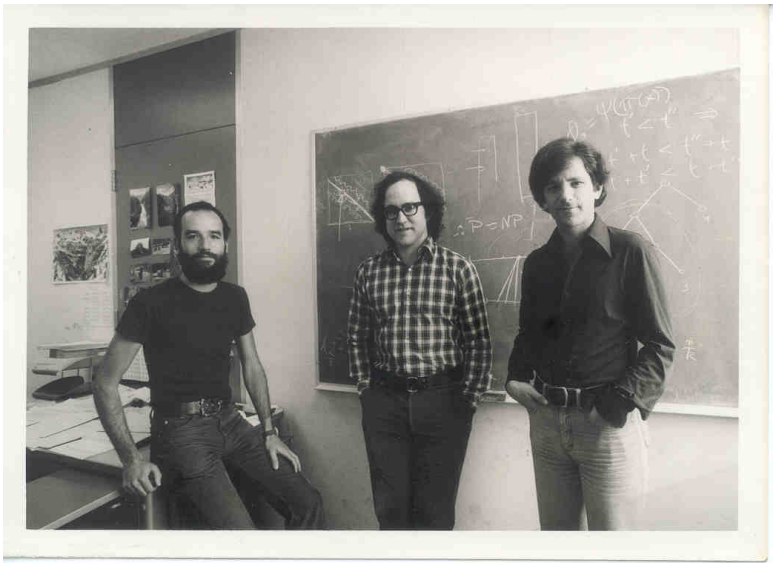
- **Enigma** è una delle macchine cifranti più famose della seconda guerra mondiale, ideata da Arthur Scherbius.
- La macchina Enigma consentiva di cifrare un testo scegliendo tra 17'576 x 6 x 100'391'791'500 = 10'000'000'000'000'000, 10 milioni di miliardi di combinazioni differenti.





La crittografia moderna

- Le basi teoriche della moderna crittografia, quella attualmente utilizzata, sono ancora più giovani e risalgono a circa 30 anni fa a partire dal 1969 con le prime ricerche di **James Ellis** del quartier generale governativo delle comunicazioni britanniche (GCHQ).
- Sviluppata ed affinata nel 1976 in America grazie al contributo di **Whitfield Diffie** e **Martin Hellman** con la nascita del termine crittografia a chiave pubblica.
- Nasce nel 1977 il cifrario a chiave pubblica **RSA** da tre ricercatori del MIT (Massachusetts Institute of Technology), **Ronald Rivest**, **Adi Shamir** e **Leonard Adleman** .
- Con il cifrario RSA si inizia a parlare di **strong-encryption**, crittografia forte.



Che cos'è un cifrario?

- Un cifrario è un sistema, di qualsiasi tipo, in grado di trasformare un testo in chiaro (messaggio) in un testo inintellegibile (testo cifrato o crittogramma).

- Per poter utilizzare un cifrario è necessario definire due operazioni: la cifratura del messaggio e la decifrazione del crittogramma.
- Definiamo con **Msg** "l'insieme di tutti i messaggi" e con **Critto** "l'insieme di tutti i crittogrammi".
- **Cifratura**: operazione con cui si trasforma un generico messaggio in chiaro **m** in un crittogramma **c** applicando una funzione **C**: Msg -> Critto.
- **Decifrazione**: operazione che permette di ricavare il messaggio in chiaro **m** a partire dal crittogramma **c** applicando una funzione **D**: Critto -> Msg.
- Matematicamente D(C(m))=m le funzioni C e D sono una inversa dell'altra e la funzione C deve essere iniettiva, ossia a messaggi diversi devono corrispondere crittogrammi diversi.

Cifrari manuali
(a sostituzione monoalfabetica)

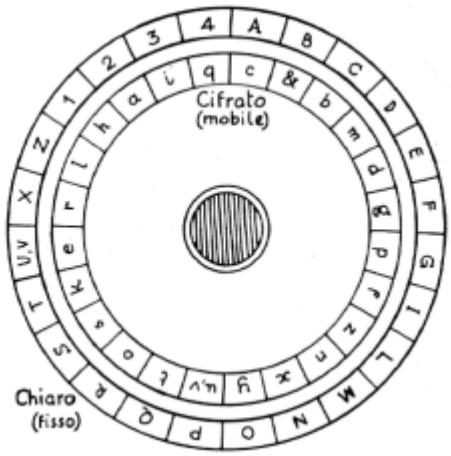
- **Cifrari a sostituzione monoalfabetica**: si utilizza un alfabeto sostitutivo con una permutazione della posizione delle lettere.
- **Cifrario di Cesare**: ogni lettera viene sostituita da quella che la segue di tre posizioni nell'ordinamento normale dell'alfabeto (in maniera circolare).

a	b	c	d	e	f	g	h	i	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	z
d	e	f	g	h	i	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	z	a	b	c

- In termini matematici: C(x)= (x+3) mod 21, D(x)= (x-3) mod 21 (dove x rappresenta la posizione della lettera nell'alfabeto e l'operatore mod rappresenta il resto della divisione per 21).
- Esempio: "a"=1 per cui C(1)=(1+3) mod 21= 4 ossia la lettera "a" viene cifrata con la lettera "d", poiché "d"=4. Per decifrare utilizzo D(4)=(4-3) mod 21 = 1, ossia "a".
- Esempio: il testo in chiaro "prova di trasmissione" viene cifrato con il crittogramma "surbd gn zudvpnvvnrqh"

Cifrari manuali
(a sostituzione monoalfabetica)

- **Cifrario a rotazione o cifrario additivo:** Si utilizzano tutte le 21 permutazioni circolari dell'alfabeto italiano.
- **Leon Battista Alberti**, nel suo Trattato della cifra, ha proposto un disco composto di due cerchi cifranti concentrici:



- **Cifrario completo:** si utilizzano tutte le permutazioni dell'alfabeto, per cui le possibili combinazioni risultano $21!-1 \approx 5x10^{19}$. Vedremo che anche se il numero delle possibili combinazioni è molto grande la sicurezza di un cifrario completo a sostituzione monoalfabetica è molto bassa.

Cifrari manuali
(a sostituzione polialfabetica)

- Si utilizzano più alfabeti di sostituzione in cascata, il più famoso cifrario a sostituzione polialfabetica è il **cifrario di Vigenère** (Blaise de Vigenère, XVI sec.).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z
B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A
C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B
D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C
E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D
F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E
G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F
H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G
I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M
O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
P	Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O
Q	R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P
R	S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q
S	T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R
T	U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S
U	V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
V	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V

- Si utilizza una parola-chiave per identificare la riga corrispondente per la sostituzione con il relativo alfabeto individuato.
- Ad esempio con la parola-chiave MENSA, voglio cifrare la parola “INTELLIGENZA”, ottengo il crittogramma: ”URHZLVOTZNLE”.
- Ogni lettera nel testo in chiaro non viene sempre sostituita con la stessa lettera nel crittogramma.

Cifrari manuali (a trasposizione)

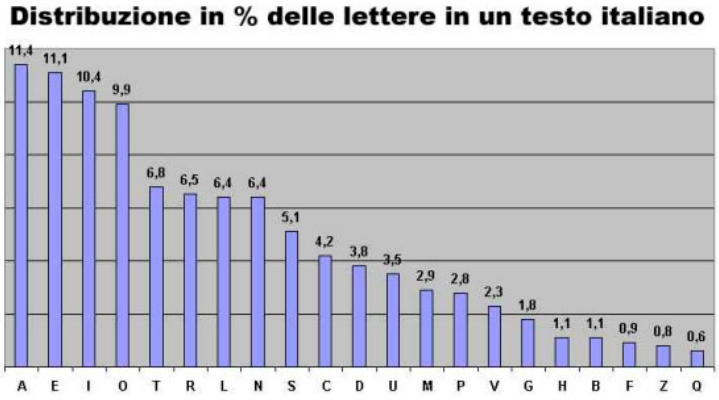
- Si utilizzano degli schemi di trasposizione della posizione dei caratteri in un testo in chiaro.
- Si fissa un numero intero **P**, detto **periodo della traposizione**, e si sceglie una permutazione degli interi da 1 a P, ad esempio per P=7:

1	2	3	4	5	6	7
4	6	3	5	7	1	2

- Il messaggio viene suddiviso in blocchi di lunghezza P e le lettere di ciascun blocco vengono "rimescolate" in base alla permutazione.
  Ad esempio il crittogramma corrispondente a: "FUGGI PR/IMA DEL T/RAMONTO" è "GPGIRFU/DLAETIM/OTMNORA"
- Con questo cifrario le lettere vengono semplicemente "rimescolate", il contenuto informativo (entropia) associata ad uno schema del genere rimane invariata.

Crittoanalisi statistica del cifrario di Cesare

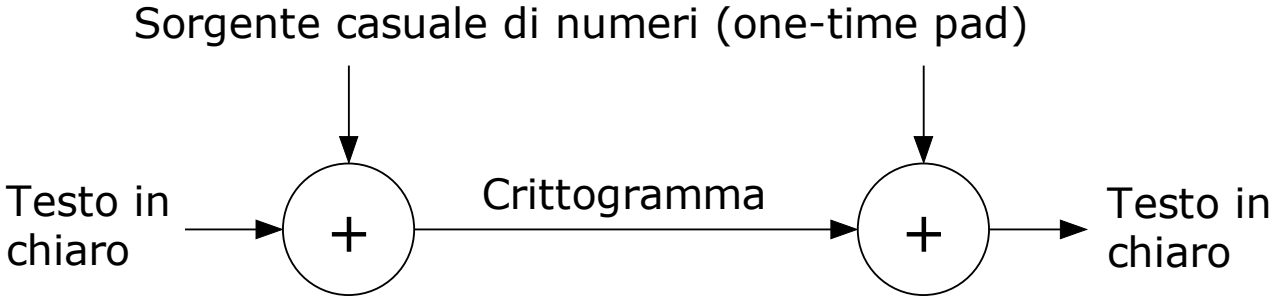
- Il cifrario di Cesare, come la maggior parte dei cifrari storici basati tu trasposizioni e traslazioni, può essere facilmente violato utilizzando tecniche statistiche (**crittoanalisi statistica**).
- Si analizzano le frequenze relative dei caratteri nel testo cifrato e le si confrontano con quelle di una lingua conosciuta, ad esempio l'italiano.
- Le frequenze relative al testo cifrato "surbd gn zudvpnvvnrqh" risultano s (1/19), u (2/19), r (2/19), b (1/19), d (2/19), g (2/19), n (3/19), z (1/19), v (3/19), p (1/19), h (1/19).
- Si confrontano tali frequenze con quelle della lingua italiana: a (0,114), e (0,111), i (0,104), o (0,099), t (0,068), r (0,065),...



- Con queste informazioni ottengo una prima approssimazione del testo in chiaro "s**ro**b**a** g**i** z**ra**vp**i**vv**io**qh", procedo per tentativi ripetendo il procedimento.

Il cifrario di Vernam one-time pad

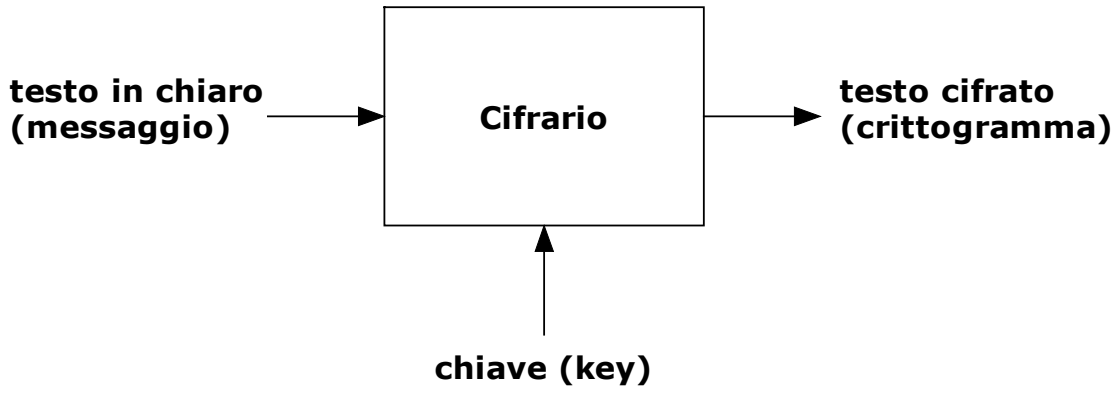
- Esiste un cifrario teoricamente sicuro? Si, è il cifrario di Vernam, detto anche one-time pad, ideato nel 1926 da **G.S.Vernam**.
- Per ogni comunicazione si utilizza una sorgente perfettamente casuale di numeri, ogni volta differente (one-time pad), e l'operatore di somma XOR (⊕).



- La sicurezza teorica del sistema è garantita dalla perfetta casualità della sorgente (one-time pad) e dal fatto che per ogni operazione di cifratura si utilizzano dati differenti.
- Nella realtà un cifrario del genere non esiste poiché non esiste un algoritmo in grado di emulare una sorgente informativa perfettamente casuale.
- Svantaggio pratico, in una ipotetica implementazione: lunghezza della one-time pad identica a quella del messaggio.

La crittografia simmetrica

- Introduciamo un parametro chiamato **k** (**key**= chiave) all'interno delle funzioni di cifratura **C(m,k)** e decifrazione **D(c,k)**.
- Si parla di crittografia simmetrica perchè si utilizza la stessa chiave k per le operazioni di cifratura e decifrazione.
- La robustezza del cifrario dipende, a differenza di prima, solo dalla segretezza della chiave k.

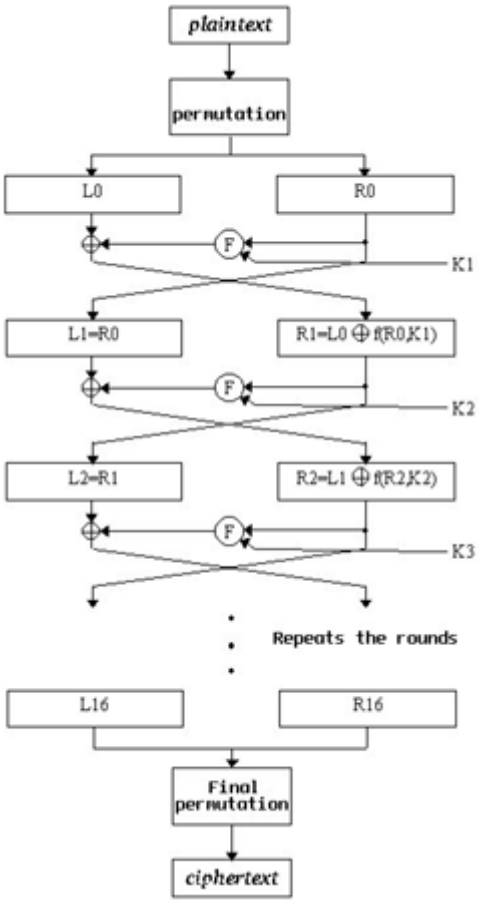


- Principio di **Kerckhoffs** (1883): "La sicurezza di un sistema crittografico è basata esclusivamente sulla conoscenza della chiave, in pratica si presuppone noto a priori l'algoritmo di cifratura e decifrazione."
- Purtroppo alcuni sistemi crittografici proprietari moderni non rispettano questo essenziale principio di sicurezza.

I cifrari simmetrici moderni:

DES (Data Encryption Standard)

- Sviluppato dall'IBM nel 1970 diventato standard nel 1976.
- Utilizza chiavi di 56 bit, divide il testo in chiaro in blocchi di 64 bit, effettua delle permutazioni iniziali e finali ed un ciclo di 16 iterazioni di permutazioni e **xor** (**Feistel network**, tecniche di confusione e diffusione).

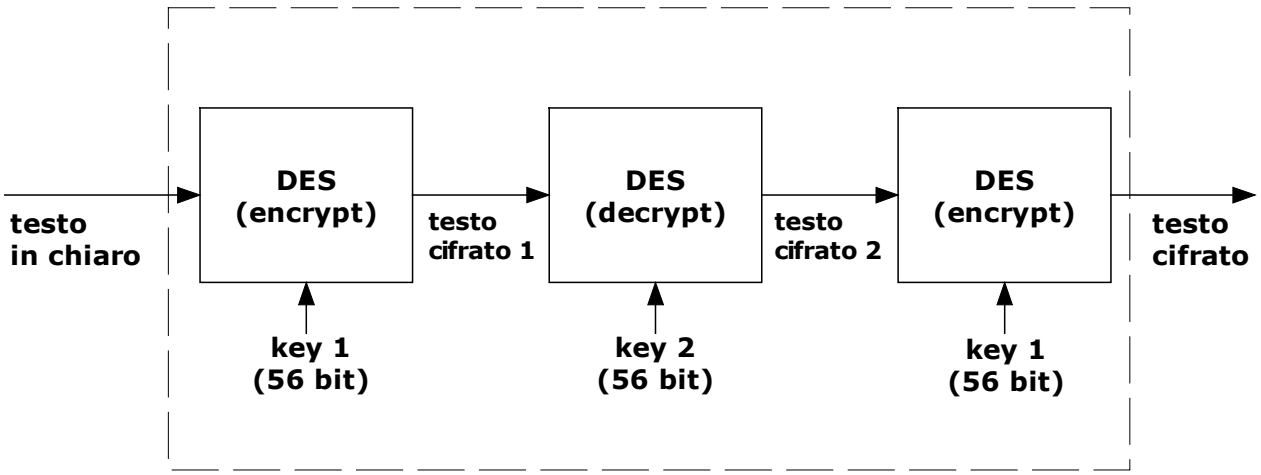


- Il 17 Luglio 1998, l'**EFF** (Electronic Frontier Foundation) costruisce un sistema dedicato in grado di violare il DES in meno di 56 ore, tramite un attacco di tipo "brute-force".
- Morale della favola: non utilizzate sistemi di cifratura basati sul DES!

I cifrari simmetrici moderni:

3DES (Triple Des)

- Evoluzione del DES, è basato su un utilizzo del cifrario DES ripetuto, chiavi di 112 bit.
- Si utilizza la tecnica della codifica-decodifica-codifica (**EDE**, **Encrypt-Decrypt-Encrypt**) utilizzando il cifrario DES.

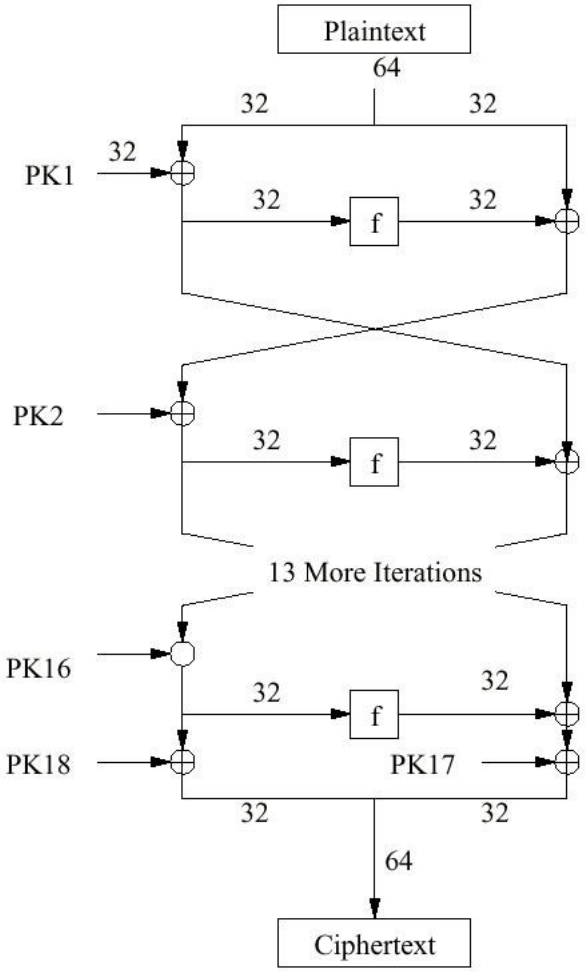


3DES (key = key1+key2, 112 bit)

I cifrari simmetrici moderni:

Blowfish

- Ideato nel 1993 da **Bruce Schneier**.
- E' stato sviluppato come algoritmo di encryption: veloce, compatto, semplice da implementare e sicuro con chiavi di dimensioni variabili fino a 448 bit.
- E' un cifrario a blocchi di 64 bit, basato sulle reti di Feistel.
- Non si conoscono attacchi efficaci.

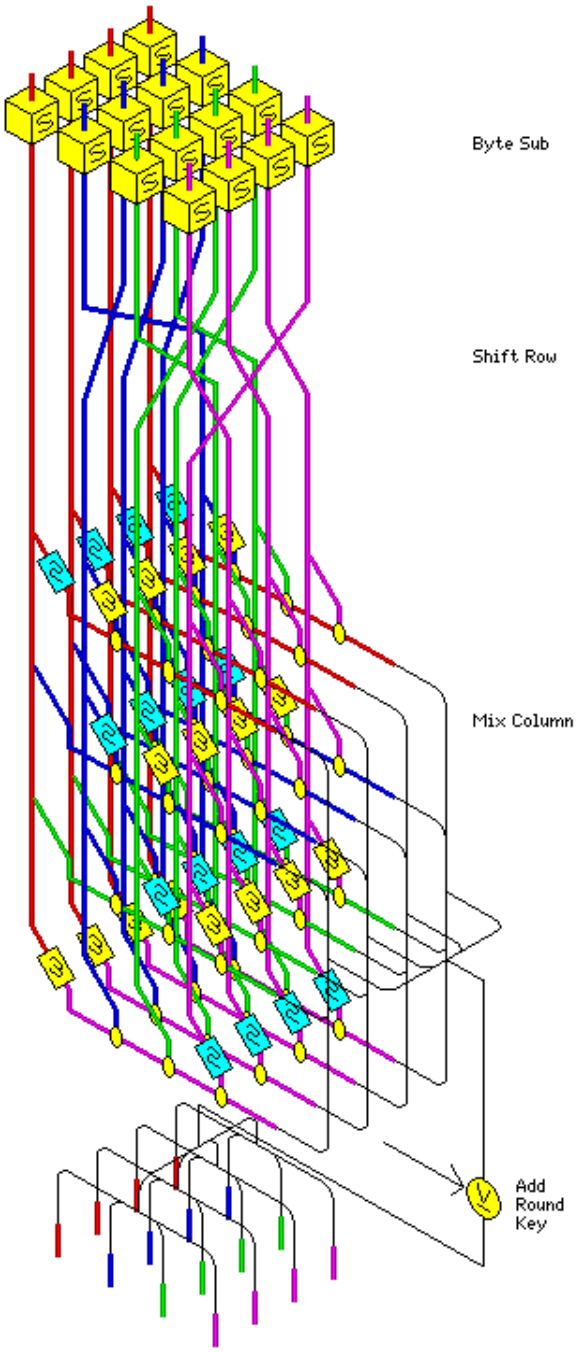


- Può essere utilizzato liberamente, l'algoritmo non è brevettato, è utilizzato in molti sistemi open source (come ad esempio in OpenBSD).

I cifrari simmetrici moderni:

Rijndael

- Sviluppato **Joan Daemen** e **Vincent Rijmen**.
- Questo algoritmo ha vinto la selezione per l'Advanced Encryption Standard (**AES**) il 2 Ottobre 2000. Ufficialmente il Rijndael è diventato lo standard per la cifratura del XXI secolo.
- Il cifrario utilizza chiavi di lunghezza variabile 128, 192, 256 bit (gli autori hanno dimostrato come è possibile variare le dimensioni delle chiavi con multipli di 32 bit). Lo schema del Rijndael è stato influenzato dall'algoritmo SQUARE.



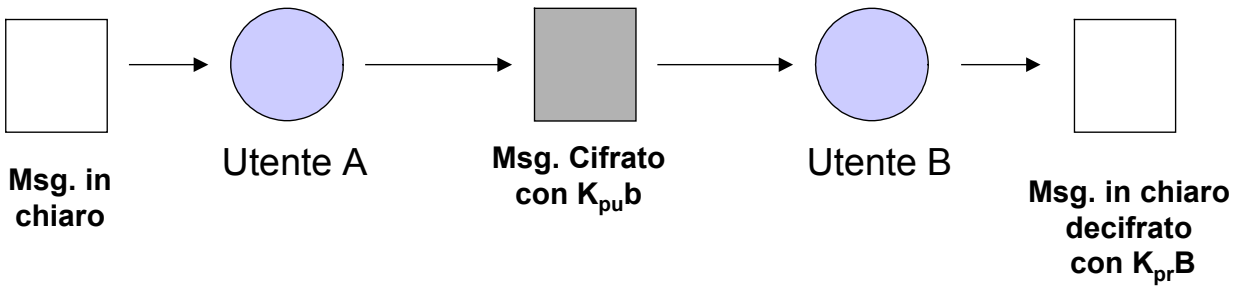
Il problema della trasmissione della chiave

- Volendo utilizzare un cifrario simmetrico per proteggere le informazioni tra due interlocutori come posso scambiare la chiave segreta? Devo utilizzare una "canale sicuro" di comunicazione.

- Ma tale "canale sicuro" esiste nella realtà?
- Altro inconveniente: Per una comunicazione sicura tra n utenti si dovranno scambiare in tutto (n-1)*n/2 chiavi, ad esempio con 100 utenti occorreranno 4950 chiavi, il tutto per ogni comunicazione!

La crittografia a chiave pubblica

- Utilizza una coppia di chiavi per le operazioni di cifratura (encryption) e decifrazione (decryption).
- Una chiave detta **pubblica** (**public key**) viene utilizzata per le operazioni di encryption.
- L'altra chiave, detta **privata** (**private key**), viene utilizzata per le operazioni di decryption.
- A differenza dei cifrari simmetrici non è più presente il problema della trasmissione delle chiavi.
- Sono intrinsecamente sicuri poiché utilizzano tecniche di tipo matematico basate sulla teoria dei numeri, sulla teoria delle curve ellittiche, etc.
  - Esempio di encryption (trasmissione sicura):

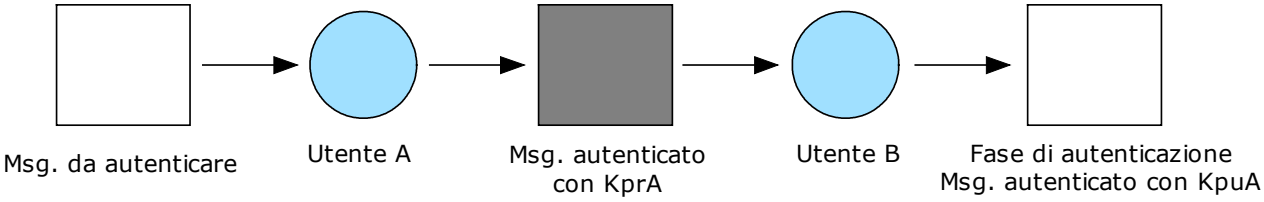


$K_{pu}B$ = chiave pubblica dell'utente B

$K_{pr}B$ = chiave privata dell'utente B

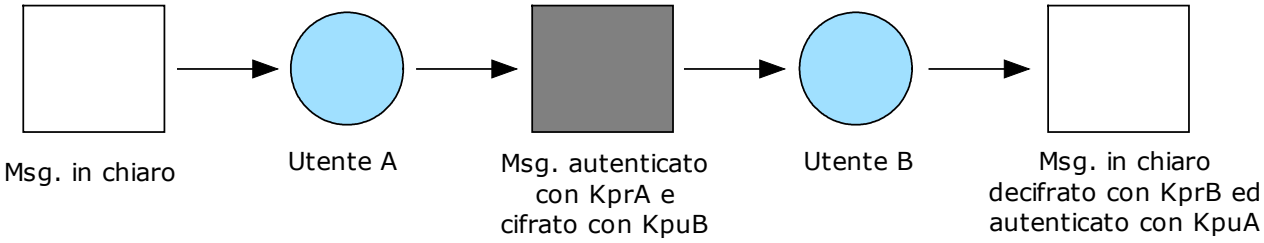
La crittografia a chiave pubblica

- Esempio di autenticazione:



KprA = chiave privata dell'utente A
KpuA = chiave pubblica dell'utente A

- Esempio di encryption ed autenticazione:



KprA = chiave privata dell'utente A
KpuA = chiave pubblica dell'utente A
KprB = chiave privata dell'utente B
KpuB = chiave pubblica dell'utente B

Il cifrario RSA

- E' basato su tecniche di teoria dei numeri: prodotto di due numeri primi di dimensioni elevate (ad esempio con 300 cifre decimali), congruenza in modulo, funzione di Eulero.
- Definiamo alcuni concetti di teoria dei numeri per poter analizzare il funzionamento del cifrario RSA:
  - Un numero $p>1$ si dice **primo** se è divisibile solo per ± 1 e $\pm p$.
  - Dati tre interi $a,b \geq 0$ e $n>0$, si dice che **a è congruo a b modulo n**, e si scrive:

    $$\mathbf{a \equiv b \pmod{n}}$$

    se esiste un intero k per cui $a = b + kn$ (o equivalentemente se a mod n = b mod n, dove l'operatore mod indica il resto della divisione intera tra a e n, b e n).
  - Per un intero $n>1$ si definisce la **funzione di Eulero $\Phi(n)$** come il numero di interi minori di n e relativamente primi con esso. Se n è un numero primo si ha che $\Phi(n)=n-1$.

Il cifrario RSA

- Le chiavi pubbliche e private vengono determinate con il seguente algoritmo:
  - Si scelgono due numeri primi **p** e **q** molto grandi (ad esempio con l'algoritmo di Solovay e Strassen, 1975);
  - Calcolo **n**= p*q, e la funzione di Eulero **Φ(n)**= (p-1)*(q-1);
  - Scelgo un intero **e** minore di Φ(n) e primo con esso;
  - Calcolo l'intero **d**, inverso di e modulo Φ(n) (ossia tale che e*d = k*Φ(n) + 1, con k numero intero);
  - La chiave pubblica è costituita dalla coppia di valori **<e,n>**, la chiave privata dai valori **<d,n>**.
- Le operazioni di encryption e decryption sono:

$$\mathbf{C = M^e \pmod n}$$

$$\mathbf{M = C^d \pmod n} = (M^e \pmod n)^d \pmod n$$

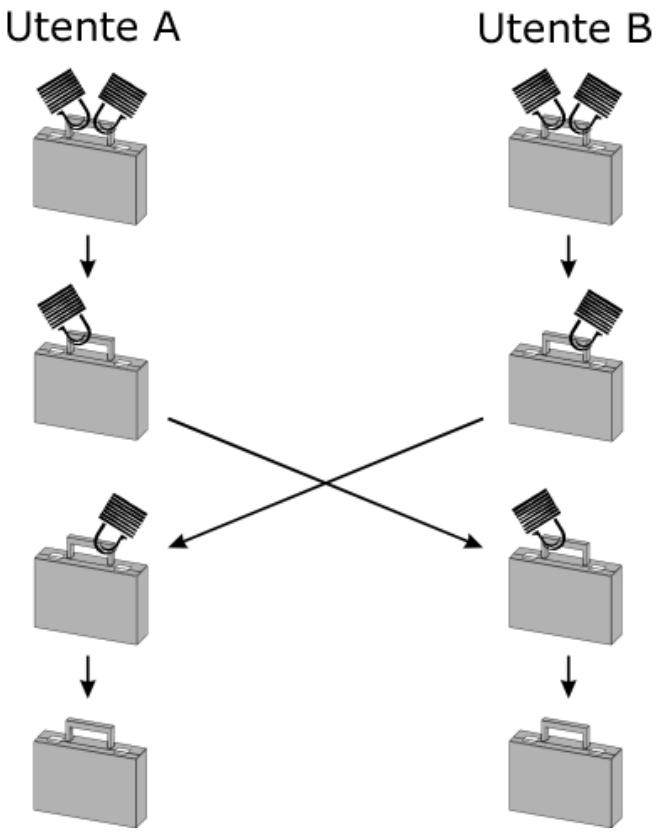
dove M= blocco di testo in chiaro,
C= crittogramma.

Il cifrario RSA

- La sicurezza del sistema è basata sul fatto che è difficile fattorizzare un prodotto di due numeri primi di dimensioni elevate (allo stato attuale), ossia l'algoritmo che risolve questo problema ha una complessità computazionale troppo elevata.
- La lunghezza delle chiavi è variabile: 512, 1024, 2048, 4096 bit ed oltre.
- Svantaggio: l'algoritmo RSA non è veloce, infatti viene utilizzato soprattutto nei sistemi crittografici ibridi che utilizzano contemporaneamente sia algoritmi simmetrici che algoritmi a chiave pubblica (come ad esempio nei software PGP e GNUPG).
- Il 6 Settembre 2000 l'algoritmo RSA è diventato di dominio pubblico, prima era di proprietà dell'omonima azienda RSA Security Inc (http://www.rsa.com).

L'algoritmo Diffie-Hellman per lo scambio delle chiavi

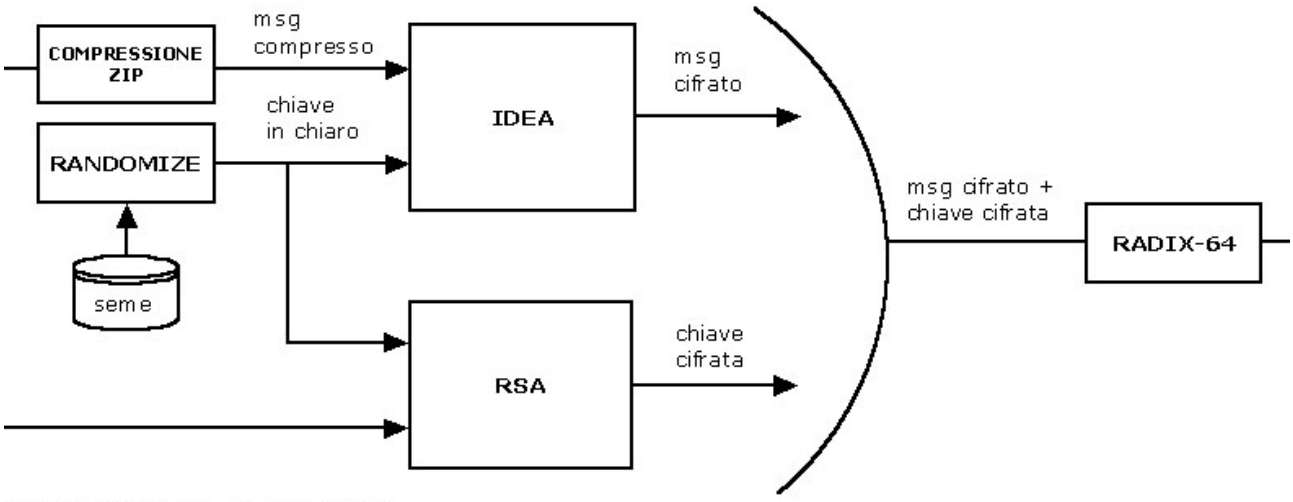
- Creato nel **1976** dai ricercatori **W.Diffie** e **M.Hellman** è il primo algoritmo a chiave pubblica della storia.
- E' stato creato per eliminare il problema dello scambio delle chiavi di cifratura su di un canale insicuro di comunicazione.



- L'efficacia dell'algoritmo Diffie-Hellman dipende dalla difficoltà di calcolare logaritmi discreti.
- Il sistema lavora su delle strutture albebriche particolari, i campi di Galois con prodotti e potenze di numeri interi.
- Può essere utilizzato insieme ad un cifrario di tipo simmetrico per lo scambio della chiave simmetrica k di cifratura (**sistema ibrido**).

Il software PGP

- **PGP** (Pretty Good Privacy) è un software di pubblico dominio creato da **Phil Zimmermann** nel 1991.
- E' un software per la privacy personale: protezione delle email, dei files, firma digitale.
- Utilizza gli algoritmi di crittografia a chiave pubblica RSA, Diffie-Hellman, DSA e gli algoritmi simmetrici IDEA, CAST, 3-DES.
- E' basato su di un sistema di crittografia "ibrido" nel senso che utilizza crittografia simmetrica per le operazioni di encryption sui dati generando delle chiavi di sessione pseudo-casuali cifrate con un algoritmo a chiave pubblica.



PGP (cifratura di un msg.)

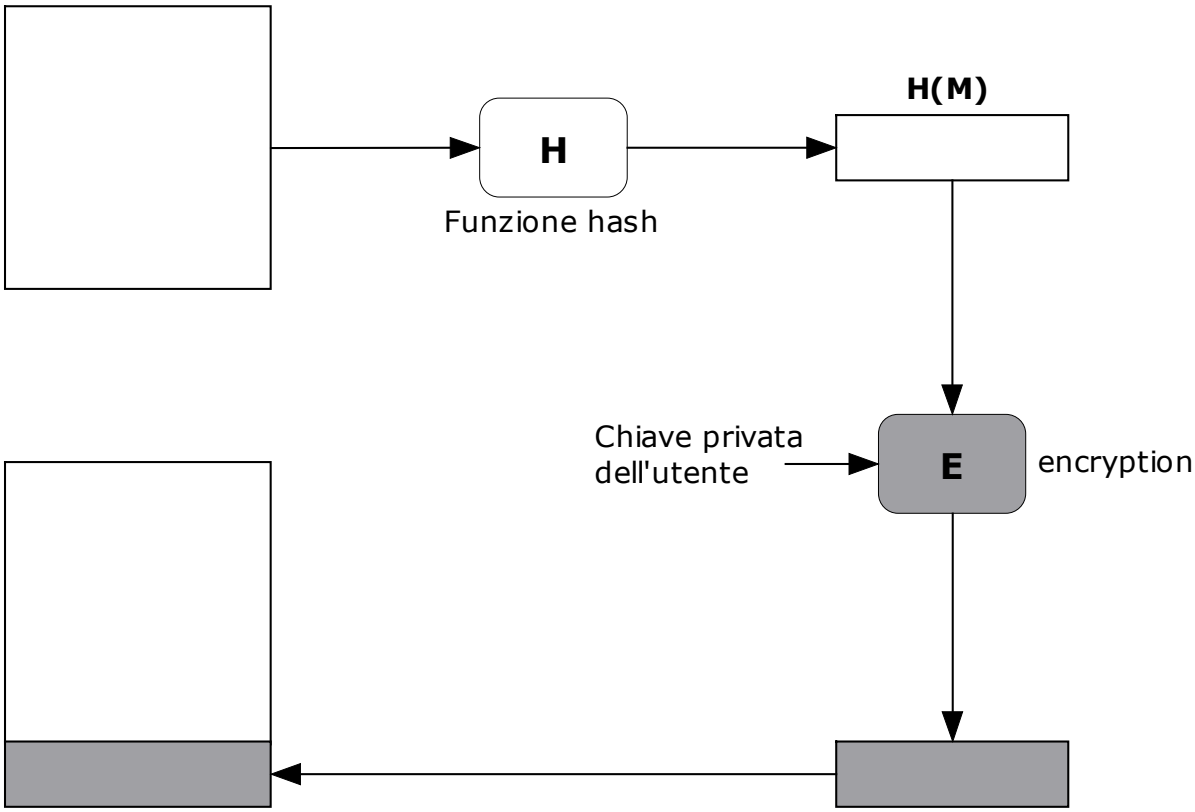
- Attualmente il progetto PGP è morto, l'ultima versione rilasciata dalla NAI è la 7.0.4, al suo posto è possibile utilizzare il GNUPG.

La firma digitale e le funzioni hash sicure

- Nasce come applicazione dei sistemi a chiave pubblica.
- Viene utilizzata per autenticare la paternità di un documento informatico e la sua integrità.
- Si utilizza un cifrario a chiave pubblica e si "cifra" un documento (file) con la propria chiave segreta. Chiunque può verificare la paternità del documento utilizzando la chiave pubblica dell'utente firmatario.
- *Problema*: per l'autenticazione di un documento di grandi dimensioni con un algoritmo a chiave pubblica occorre molto tempo.
- *Soluzione*: posso autenticare solo un "riassunto" del documento tramite l'utilizzo di una funzione hash sicura.
- Le funzioni hash sicure vengono utilizzate per generare un sorta di "riassunto" di un documento informatico (file).
- Una funzione hash accetta in ingresso un messaggio di lunghezza variabile **M** e produce in uscita un digest di messaggio **H(M)** di lunghezza fissa.

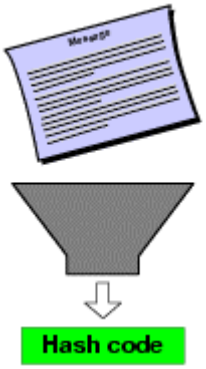
Esempio di firma digitale di un documento

Documento da firmare M



Documento firmato:
Il ricevente può verificare
la firma utilizzando la
chiave pubblica dell'utente firmatario
e riapplicando la funzione hash

Le funzioni hash sicure



- L'output di una funzione hash, il digest (impronta digitale, targa, riassunto), è strettamente legato al messaggio M, ogni messaggio M genera un H(M) univoco.
- Anche considerando due messaggi M ed M' differenti solo per un carattere le loro funzioni hash H(M) e H(M') saranno diverse.
- Requisiti di una funzione hash sicura:
  - H può essere applicata a un blocco di dati di qualsiasi dimensione;
  - H produce in uscita un risultato di lunghezza fissa (ad esempio **160 bit**);
  - Per qualunque codice **h** il calcolo di **x** tale che **H(x)=h** deve avere una complessità computazionale improponibile;
  - Per qualunque blocco di dati x deve essere il calcolo di $y \neq x$ tale che H(x)=H(y) deve avere una complessità computazionale improponibile.
  - Ai fini pratici H(x) deve essere relativamente semplice da calcolare.

Esempio di funzione hash

- Tutte le funzioni hash operano sulla base del seguente principio: i dati in ingresso sono considerati come una sequenza di blocchi di n bit, essi vengono elaborati un blocco alla volta iterativamente per produrre una funzione hash di n bit.
- Una delle più semplici funzioni hash è quella che esegue lo XOR (⊕) bit a bit di ciascun blocco, ossia:

$$C_i = b_{i1} \oplus b_{i2} \oplus \ldots \oplus b_{im}$$

- Dove C_i rappresenta l'i-esimo bit del codice hash, m il numero di blocchi di n bit, b_{ij} l'i-esimo bit all'interno del j-esimo blocco e l'operatore ⊕ l'operazione di XOR.
- La probabilità che un errore nei dati produca lo stesso valore hash è 2^{-n}, ad esempio con n=128 bit $2^{-128} \approx 2{,}9387*10^{-39}$ = 0,00000000000000000000000000000000029387.

I Public Key Server e le Certification Authority

- Dove trovo le chiavi pubbliche dei miei destinatari?
- Creazione di "archivi di chiavi pubbliche", i **Public Key Server**.
- Ma chi mi garantisce la corrispondenza delle chiavi pubbliche con i legittimi proprietari?
- Nascita delle **Certification Authority** (**CA**): entità di certificazione in una rete informatica dell'identità elettronica delle chiavi pubbliche.
- A questo punto chi garantisce la validità delle certification authority?
- Atto di fede!
- In Italia esistono attualmente 14 entità di certificazione legalmente riconosciute dall'AIPA (Autorità per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione) secondo l'articolo 27 comma 3 del DPR 28 dicembre 2000 n.445 specificato nel DPCM 8 febbraio 1999, esse sono:
  S.I.A. S.p.A., SSB S.p.A., BNL Multiservizi S.p.A., Infocamere SC.p.A., Finital S.p.A., Saritel S.p.A., Postecom S.p.A., Seceti S.p.A., Centro Tecnico per la RUPA, In.Te.S.A. S.p.A., ENEL.IT S.p.A., Trust Italia S.p.A. , Cedacrinord S.p.A., Actalis S.p.A.

Bibliografia italiana essenziale

- “Crittografia” di Andrea Sgarro, Franco Muzzio Editore;
- “Crittografia - Principi, Algoritmi, Applicazioni” di P. Ferragina e F. Luccio, Bollati Boringhieri Editore;
- “Crittologia” di L. Berardi, A.Beutelspacher, FrancoAngeli Editore;
- “Codici & Segreti” di Simon Singh, Rizzoli Editore;
- “La guerra dei codici” di Stephen Budiansky, Garzanti Editore;
- “Segreti, Spie e Codici Cifrati” di C.Giustozzi, A.Monti, E.Zimuel, Apogeo Editore;
- “Sicurezza delle reti - Applicazioni e standard” di William Stallings, Addison-Wesley Editore;
- “Sicurezza dei sistemi informatici” di M.Fugini, F.Maio, P.Plebani, Apogeo Editore

Su Internet per saperne di più

- http://www.enricozimuel.net