Sicurezza in Internet

Crittografia

Sommario

- Introduzione
- Cifratura a Chiave Simmetrica
- Cifratura a Chiave Pubblica
- Autenticazione
- Firma Elettronica
- Distribuzione delle Chiavi
- Protocolli

Sicurezza nelle reti

- Ci sono tre aree in cui bisogna intervenire per rendere una rete sicura
  - **Riservatezza (Confidentiality)**: il messaggio deve essere accessibile (visualizzabile o rilevabile la sua presenza) sola ad entità autorizzate.
  - **Autenticazione**: L'identità delle entità coinvolte nella comunicazioni deve poter essere verificata.
  - **Integrità (Integrity)** (ed eventuale "firma"): impedire che i dati possano essere modificati se non da autorità autorizzate (con firma: anche legate all'autore, che non ne possa disconoscere la paternità).

Sicurezza nelle reti: Attacchi

Passivi

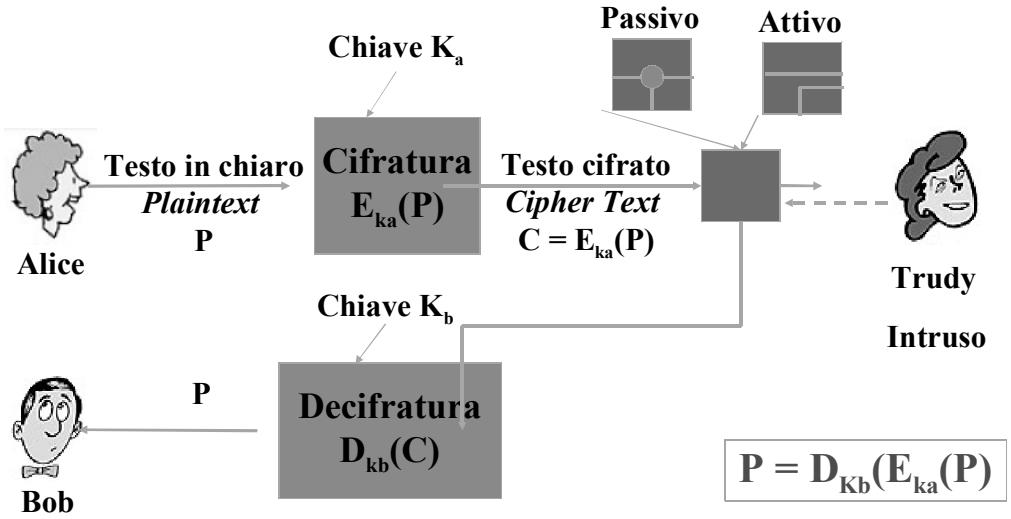
- **Accesso al contenuto**: venire a conoscenza di informazioni riservate.
  Ad esempio lo *Sniff* (il fiutare) di pacchetti su LAN a mezzo condiviso.
- **Analisi del traffico**: senza vedere i contenuti specifici, riconoscere l'entità dei comunicanti e tipo e frequenza dei messaggi.
- Sono difficili da rilevare, quindi si devono prevenire.

Sicurezza nelle reti: Attacchi

Attivi

- **Sostituzione**: Farsi passare per un altro
  Ad esempio lo *Spoofing* (imbroglio) IP.
- **Replica**: copiare e riproporre un messaggio per ottenere effetti non autorizzati (ad esempio, un doppio versamento).
- **Alterazione**: modifica anche solo dell'ordine
- **Negazione del servizio**: inibire l'uso o la gestione di un sistema (anche dell'intera rete), ad esempio per impedire la generazione o arrivo di messaggi di allarme (SYN *Attack*).
- Possono sia essere rilevati e quindi fermati che prevenuti

Riservatezza: Cifratura



Cifratura a chiave Simmetrica

- E' una tecnica antica (Giulio Cesare)
- $K_A = K_B = K$: una sola chiave
- Deve rispettare due requisiti per essere sicura:
  - Robustezza dell'algoritmo: anche conoscendo l'algoritmo ed avendo campioni di testo in chiaro e cifrato, l'intruso non deve essere in grado di decifrare il testo e scoprire la chiave
  - Mittente e destinatario devono poter ottenere in modo sicuro la chiave e custodirla efficacemente.

Attacchi al testo cifrato

- Attacco al testo cifrato (chipertext only):
  chi attacca ha a disposizione solo la conoscenza di una certa quantità di testo cifrato.
- Attacco al testo in chiaro conosciuto
  (known plaintext): chi attacca conosce alcuni campioni di testo in chiaro e i corrispondenti messaggi cifrati.
- Attacco al testo in chiaro scelto (chosen plaintext): chi attacca ha la possibilità di criptare il testo in chiaro desiderato.

Cifratura a chiave simmetrica

- Per scardinare un algoritmo di cifratura esistono due tecniche:
  - Criptoanalisi: che si basa sulla natura degli algoritmi, su campioni, su caratteristiche statistiche di P.
  - Forza bruta.

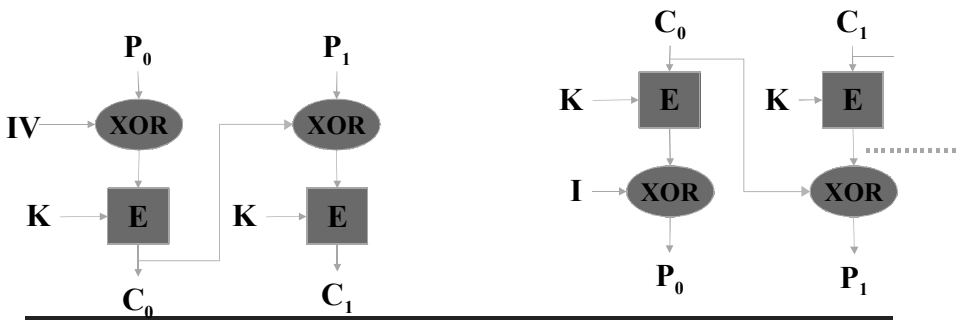
Dim. chiave	# di chiavi possibili	Tempo (1 cifr./μs)	Tempo (10^6cifr./μs)
32	$2^{32} = 4{,}3x10^9$	231 s = 35,8 min.	2,15 ms
56	$2^{56} = 7{,}2x10^{16}$	255 s = 1142 anni	10,01 ore
128	$2^{128} = 3{,}4x10^{38}$	2127s = 5,4 10^{24} anni	5,4 10^{18} anni
168	$2^{168} = 3{,}7x10^{50}$	2167 s = 5,9 10^{36} anni	5,9 10^{30} anni

Cifratura a chiave simmetrica

- Viene in genere realizzata con una sostituzione monoalfabetica:
  - Sostituisco una "lettera" (blocco di dati) con un'altra.
- Se le lettere sono quelle dell'alfabeto (blocchi di 7 o 8 bit) ho
  - 26! possibili accoppiamenti pari a circa 10^{26}
  - Facile usare meccanismi statistici per scardinare il codice

Cifratura a chiave simmetrica

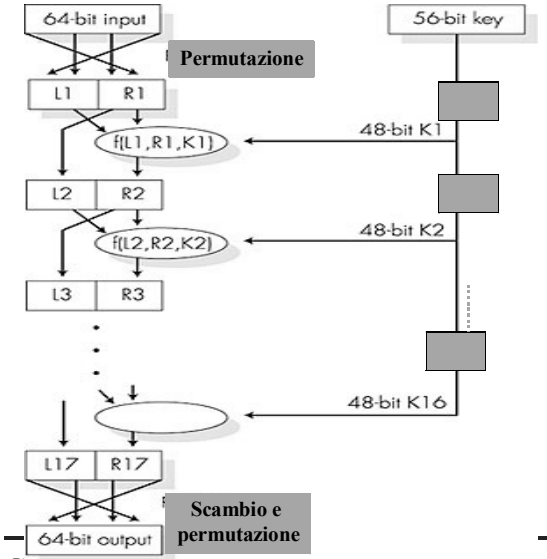
- Per rendere la tecnica più efficace
  - si usano "lettere" più grandi (ad es. n = 64 bit) e slegate dal testo, ossia si sostituisce un blocco di bit di lunghezza fissa con un altro.
  - Si concatena il risultato di una cifratura con la successiva, ossia si esegue il concatenamento di blocchi cifrati (***Cipher Block Chaining***, CBC)



Cifratura a chiave simmetrica
Data Encryption Standard (DES)

- Nasce nel 1977 e viene aggiornato nel 1993,
- E' stato adottato dal U. S. *National Bureau of Standard* (oggi *National Institute for Standard and Technology*, NIST)
- L'algoritmo vero e proprio si chiama *Data Encryption Algorithm* (DEA):
  - Opera su blocchi da 64 bit.
  - Usa una chiave da 56 bit.
  - Si compone di 19 stadi:
    - » Una prima permutazione
    - » 16 stadi parametrizzati da una variante della chiave K_i, i=1,..,16
    - » Uno scambio dei 32 bit destri con i sinistri
    - » Una permutazione inversa alla prima

Cifratura a chiave simmetrica
Data Encryption Standard (DES)



- In genere viene usato in unione con un concatenamento (CBC).
- La decifratura avviene con lo stesso meccanismo ma usando le chiavi in ordine inverso
- La complessità dell algoritmo risiede nella funzione f(.).

Cifratura a chiave simmetrica
Data Encryption Standard (DES)

- Per quanto concerne la robustezza, sono stati indetti tre concorsi (*challenger*) per violarlo:
  - *Challenger* I (1997): scardinato in 4 mesi;
  - *Challenger* II (1998): scardinato in 56 ore
  - *Challenger* II (1999): scardinato in 22 ore e 15 min. (testate 245×10^9 chiavi al sec.)
- Ad oggi, (nella sua forma con chiave a 56 bit) non è considerato molto sicuro.

Cifratura a chiave simmetrica
Triplo-DEA (T-DEA)

- Standardizzato dall'ANSI (1985) come X 9.17 e parte del DES dal 1999
- Usa 3 chiavi da 56 bit: K_1, K_2, K_3.
- Opera come segue:

$$C = E_{K3}(D_{K2}(E_{K1}(P))$$

- Questo significa che ha una chiave di lunghezza complessiva pari a 168 bit
- Si può cifrare e decifrare il DEA ponendo tutte le chiavi uguali
- Si può usare una chiave da 112 bit ponendo $K_1 = K_3$

Cifratura a chiave simmetrica: AES

- Il National Institute of Standards and Technology (NITS), ente governativo americano, nel 1997 ha lanciato un concorso pubblico per individuare un nuovo standard di crittografia, per uso generico del governo americano
- il nome dello standard sarebbe stato AES (Advanced Encryption Standard);
- lo scopo del concorso pubblico era quello di evitare ogni possibile sospetto sul nuovo standard.

Cifratura a chiave simmetrica: AES

- I requisiti richiesti erano:
  - utilizzo di crittografia a chiave simmetrica;
  - progetto completamente pubblico;
  - chiavi di lunghezza 128, 192 e 256 bit;
  - implementazione hw e sw;
  - algoritmo doveva essere liberamente utilizzato o non avere restrizioni particolari.

AES - Rijndael

- L'algoritmo prescelto è stato il Rijndael (Rijmen e Daemen)
- la selezione si è basata su criteri di sicurezza, efficienza, semplicità, flessibilità e requisiti di memoria (per sistemi embedded).
- Supporto chiavi e blocchi di cifratura da 128 a 256 bit, a passi di 32 bit
- blocchi e chiavi possono avere diversa lunghezza.
- L'utilizzo più frequente prevede chiavi di 128 o 256 bit e blocchi di 128 bit.

Cifratura a chiave simmetrica

- Collocazione dei dispositivi di cifratura, due possibilità:
  - Sulle linee (il pacchetto rimane vulnerabile nei commutatori)
  - Sui dispositivi terminali (non è possibile cifrare anche le intestazioni ma solo i dati)
- L'ottimo e utilizzare ambedue i metodi.

Cifratura a chiave pubblica

- Utilizza due chiavi:
  - Una chiave $\mathbf{K_A}$ usata per la cifratura che viene resa pubblica (chiave pubblica).
  - Una chiave $\mathbf{K_B}$ usata per la decifratura che viene mantenuta segreta (chiave privata).
- Si evita (ma solo parzialmente!) il problema della distribuzione della chiave.
- Deve avere tre requisiti
  - $\mathbf{D_{KB}(E_{KA}(P)) = P}$
  - Non deve essere possibile dedurre K_B da K_A.
  - K_B non deve poter essere dedotta tramite cifratura di testi noti

Rivest, Shamir, Adelson (RSA)

Scelta delle chiavi

- Si scelga due numeri primi grandi (ad esempio da 1024 bit): **p** e **q**.
- Si calcoli **n = p · q**, **z = (p -1)(q -1)**.
- Si scelga **e** (con **e < n**) tale che non abbia fattori comuni con **z** (**e** e **z** sono "primi relativi") **.**
- Si scelga **d** tale che **ed-1** sia esattamente divisibile per z (in altre parole **e · d mod z = 1.**
- La chiave pubblica $\mathbf{K_A = (n, e)}$ e la chiave privata $\mathbf{K_B = (n, d).}$

Rivest, Shamir, Adelson (RSA)

- Dati (**n**, **e**) e (**n**, **d**):
  - Per cifrare una sequenza di bit **m**, si calcola:
    $c = m^e \bmod n$ (ossia il resto di m^e diviso **n**)
  - Per decifrare una sequenza di bit **c** ricevuta, si calcola:
    $m = c^d \bmod n$ (ossia il resto di c^d diviso **n**)
- Ciò che accade è che

$$m = (m^e \bmod n)^d \bmod n$$

Rivest, Shamir, Adelson (RSA)

Bob sceglie **p** = 5, **q** = 7.
Quindi **n** = 35, **z** = 24.
e = 5 (così **e**, **z** sono primi relativi).
d = 29 (così **ed-1** è divisibile esattamente per **z**).

	Lettera	m	m^e	$c = m^e \bmod n$
Cifra:	l	12	248832	17

	c	c^d	$m = c^d \bmod n$	Lettera
Decifra:	17	481968572106750915091411825223072000	12	l

Rivest, Shamir, Adelson (RSA)

- Perché vale **$m = (m^e \bmod n)^d \bmod n$?**
- La base è un risultato della teoria dei numeri, ossia se p e q sono primi e n = p q allora:

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

- $(m^e \bmod n)^d \bmod n = m^{ed} \bmod n =$
  $= m^{ed \bmod (p-1)(q-1)} \bmod n =$
  (grazie al risultato della teoria dei numeri di cui sopra)
  $= m^1 \bmod n =$
  (dato che si è scelto **ed** divisibile per **(p-1)(q-1)** con resto 1)
  $= m$

Rivest, Shamir, Adelson (RSA)

- Si osservi che l'algoritmo funziona anche a chiavi invertite.
- Il meccanismo è sicuro perché, al momento, non sono noti algoritmi veloci per la fattorizzazione dei numeri (altrimenti basterebbe fattorizzare n)
- Il problema della cifratura a chiave pubblica è il tempo di elaborazione, rispetto alla chiave simmetrica:
  - In software è 100 volte più lenta
  - In hardware è da 1000 a 10.000 volte più lenta
- Allora viene usato, in genere, solo per lo scambio di una chiave simmetrica di sessione.

Integrità e firma elettronica

- La firma elettronica è la forma più completa di verifica di integrità. Tale tipo di firma dovrebbe far sì che:
  - L'integrità del messaggio originale sia assicurata.
  - La firma sia legata indissolubilmente al messaggio.
  - La firma sia verificabile (permette di identificare chi ha firmato).
  - La firma sia non falsificabile e non rifiutabile (solo quell'individuo deve poter fare quella firma e non deve poterla disconoscere).

Firma elettronica

- Un modo per firmare il proprio documento è quello di codificarlo con la propria chiave privata.
- Dato che solo il proprietario ha la chiave privata, questo assicura che solo lui può averlo codificato, e chiunque può verificare che è stato lui a codificarlo usando la sua chiave pubblica e ritrovando il messaggio.
- Questo procedimento ha un limite:
  - La cifratura di un messaggio (con chiave pubblica) è una operazione onerosa se fatta su grandi quantità di dati. E lo stesso vale per la decifratura, obbligatoria per poter leggere il messaggio

Firma elettronica

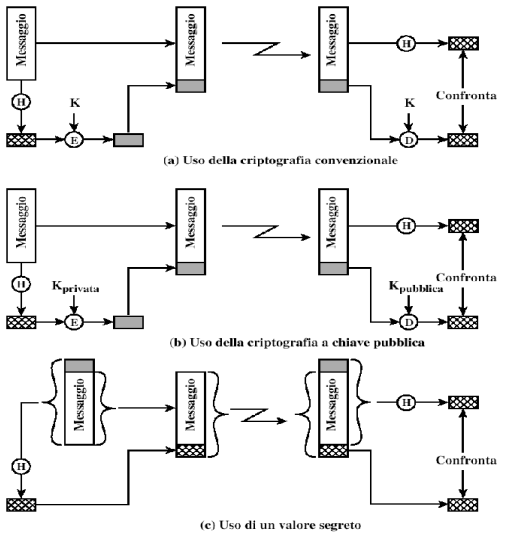
- Un meccanismo alternativo che impone un minor onere computazionale è quello del ***message digest*** (sunto del messaggio).
- Il principio è simile a quello dei codici a rivelazione d'errore, si applica ad un messaggio p una funzione H( ) il cui risultato è un blocco di dati d_p (il ***digest***) con dimensioni molto minori di p. Tale *digest* deve essere legato in modo univoco la messaggio originale
- Tale funzione H() viene chiamata funzione di **hash** .

Integrità e Firma elettronica : Digest

- La funzione di ***hash*** H() deve avere le seguenti proprietà:
  - Deve poter essere applicata a messaggi di qualunque dimensione.
  - Deve produrre un risultato di lunghezza fissa
  - Deve essere relativamente semplice da calcolare.
  - Per ogni *digest* d dato, deve essere computazionalmente impossibile trovare x tale che H(x) = d (non invertibilità).
  - Per ogni messaggio x deve essere computazionalmente impossibile trovare y ≠ x tale che H(y) = H(x) (impedisce falsificazioni).
  - Deve essere computazionalmente impossibile trovare una qualsiasi coppia (x, y) tale H(x) = H(y).

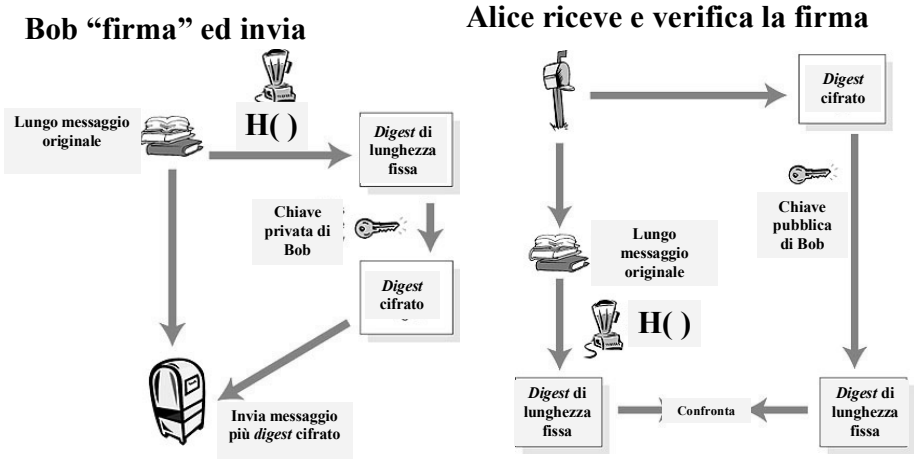
Integrità e Firma elettronica: Digest

Possibili usi del *digest* per la verifica dell'integrità



Integrità e Firma elettronica: *Digest*

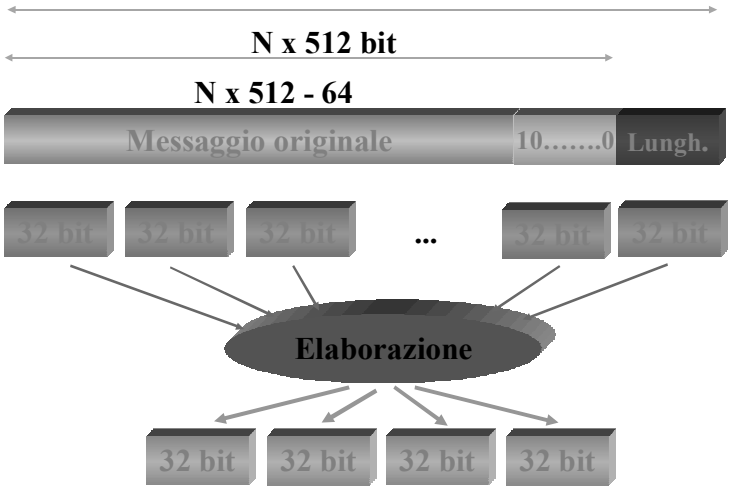
- Si può usare il *digest* cifrato con la chiave privata corrisponde a firmare il messaggio



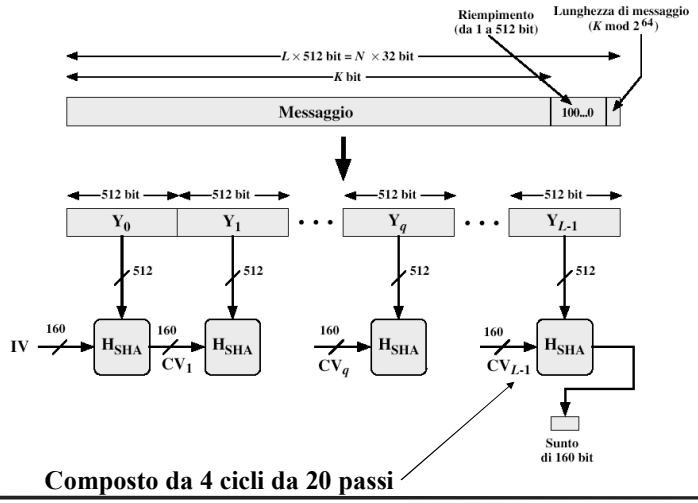
Integrità e Firma elettronica: *Digest*

- Gli standard più usati per il *digest* attualmente sono sostanzialmente due:
  - ***Secure Hash Algorithm*** (**SHA**): sviluppato dal NIST e rivisto successivamente e standardizzato come FIPS PUB 180-1 noto come **SHA-1**, e usa *digest* da 160 bit.
  - MD5 definito da Ron Rivest [RFC 1321] che usa un *digest* di 128 bit.

Integrità e Firma elettronica: *Digest - MD5*



Integrità e Firma elettronica: *Digest - SHA-1*



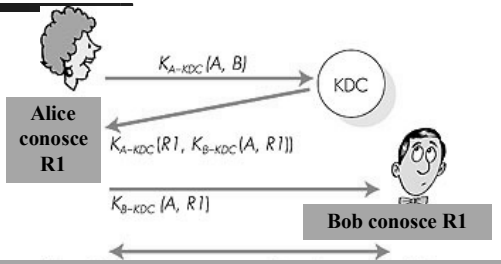
Composto da 4 cicli da 20 passi

Distribuzione delle chiavi e certificazione

- Due entità che voglio comunicare cifrando con chiave simmetrica, come stabiliscono una chiave segreta comune?
- La soluzione è un centro di fiducia che distribuisca le chiavi (***Key Distribution Center***, **KDC**).
- Per la chiave pubblica-privata, il problema è un altro: come si fa ad essere sicuri della "proprietà" di una chiave pubblica?
- Anche in questo caso bisogna avere un intermediario di fiducia detto Autorità di certificazione (***Certification Authority***, **CA**) che certifichi l'appartenenza di una chiave pubblica.

Key Distibution Center

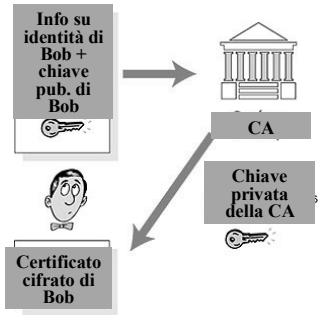
- Alice e Bob hanno bisogno di una chiave simmetrica comune.
- **KDC**: un server condivide una chiave segreta con ciascuno degli utenti registrati.
- Alice, Bob conoscono la propria chiave simmetrica, $K_{A\text{-}KDC}$ $K_{B\text{-}KDC}$, per comunicare con il KDC.



- Alice comunica con il KDC, acquisisce la chiave di sessione R1, e $K_{B\text{-}KDC}(A,R1)$
- Alice invia a Bob $K_{B\text{-}KDC}(A,R1)$ e Bob estrae R1
- Alice e Bob ora condividono la chiave simmetrica R1.

Certification Authority (CA)

- La ***Certification Authority*** (**CA**) lega una chiave pubblica ad una entità.
- Le entità (persone, router, etc.) possono registrare le loro chiavi pubblica alla CA.
  - L'entità che si iscrive deve fornire una "prova dell'identità" alla CA.
  - La CA crea un **Certificato** che lega l'entità alla chiave pubblica.
  - Il certificato viene "firmato" dalla CA.



Quando Alice vuole la chiave pubblica di Bob:

- Prende il certificato di Bob (da Bob, dalla CA o ovunque).
- Applica la chiave pubblica del CA e ricava la chiave pubblica di Bob.

Distribuzione delle chiavi e certificazione

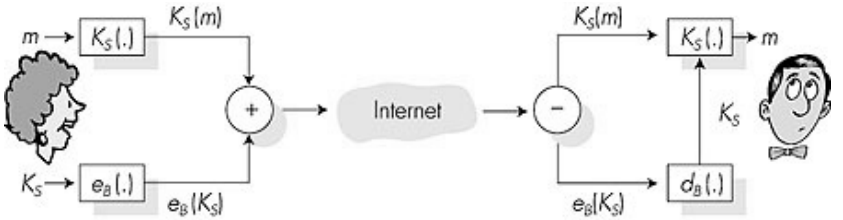
- Si osservi che la pratica usuale è quella di:
  - Usare chiave simmetriche per la cifratura dei dati (più veloci).
  - Cambiare spesso (ogni sessione o più) la chiave simmetrica.
  - Scambiarsi la chiave simmetrica tramite una cifratura a chiave pubblica.
  - Autenticare l'identità della chiave pubblica usando una CA.

Sicurezza - Protocolli

- Oltre che dal punto di vista della locazione fisica dei meccanismi di sicurezza, riveste una notevole importanza la scelta del loro posizionamento nella pila protocollare.
- I dispositivi di sicurezza possono essere implementati:
  - A livello di applicazione (ad es. email-PGP)
  - A livello di trasporto (ad es. SSL, SET)
  - A livello di rete (IPsec)
  - A livello di linea (WLAN)

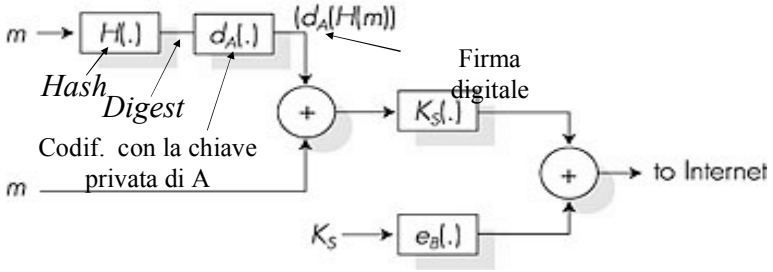
E-mail sicure - Segretezza dei dati

- Alice vuole inviare un messaggio m segreto a Bob



- Genera una chiave simmetrica casuale , K_S
- Cifra il messaggio con K_S, $K_S(m)$.
- Cifra anche K_S con la chiave pubblica di Bob, $e_B(K_S)$.
- Invia sia $K_S(m)$ che $e_B(K_S)$ a Bob

E-mail sicura - Segretezza, autenticazione ed integrità



- Il digest del messaggio viene cifrato con la chiave privata del mittente (firma e integrità)
- Il messaggio viene cifrato con una chiave simmetrica insieme alla firma; il tutto viene cifrato con la chiave pubblica del destinatario (segretezza)

E-mail sicura - PGP

Pretty Good Privacy (PGP)

- E' uno schema di di cifratura per e-mail, uno standard de facto.
- Usa la cifratura simmetrica (Triple-DES o IDEA) e a chiave pubblica (RSA), le funzioni di *Hash* (MD5 o SHA) e la firma digitale come descritto prima
- Quindi fornisce riservatezza, autenticazione del mittente e verifica dell'integrità del messaggio
- Inventato da Phil Zimmerman, oggetto per tre anni di indagini da parte federale (USA).

```
---BEGIN PGP SIGNED MESSAGE---
Hash: SHA1

Bob:My husband is out of town
   tonight.Passionately yours,
   Alice

---BEGIN PGP SIGNATURE---
Version: PGP 5.0
Charset: noconv
yhHJRHhGJGhgg/12EpJ+lo8gE4vB3mqJh
   FEvZP9t6n7G6m5Gw2
---END PGP SIGNATURE---
```


Secure Socket Layer (SSL)

- SSL opera a livello di trasporto e fornisce funzioni per la sicurezza ad ogni applicazione basata su TCP
- E' utilizzato da varie applicazioni fra cui www *server* e *browser* per servizi di *e-commerce* (shttp)
- I servizi per la sicurezza di SSL sono:
  - Autenticazione del server (tramite certificato firmato da CA fidate)
  - Cifratura dei dati
  - Autenticazione dei client (opzionale)
- E' la base della ***Transport Layer Security (TSL)*** dell'IETF

Secure Socket Layer (SSL)

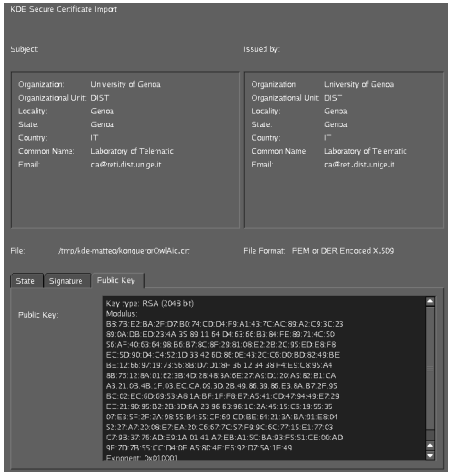
Autenticazione del server

- Un *browser* con SSL deve possedere la chiave pubblica di una o più CA.
- Il *browser* richiede il certificato del Server secondo uno dei CA che conosce.
- Il *browser* usa la chiave pubblica del CA per estrarre la chiave pubblica del Server.

Sessioni SSL

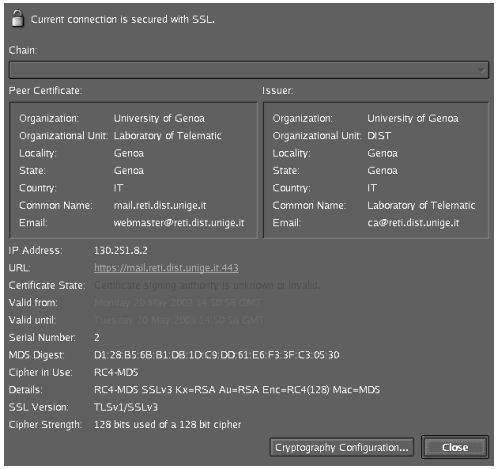
- Per effettuare lo scambio sicuro, SSL crea delle sessioni che possono essere usate anche da più connessioni TCP contemporaneamente
- La sessione prevede:
  - la generazione di una chiave simmetrica da parte del *browser*, cifrata con la chiave pubblica del server e ad esso inviata;
  - La decifratura della chiave simmetrica da parte del server
  - Uno scambio per definire se e come i messaggi verranno cifrati

Distribuzione delle chiavi e certificazione: *Certificati*



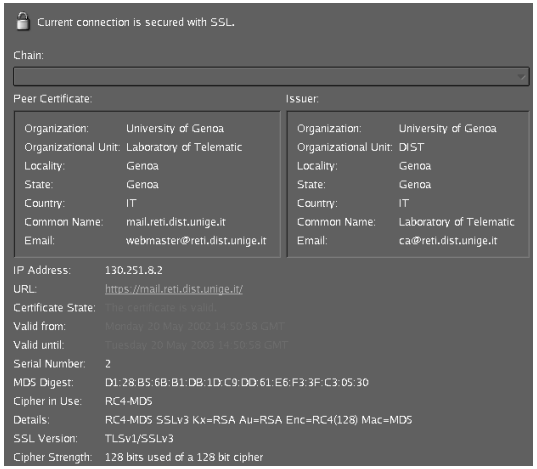
Certificato di una CA autofirmato

Distribuzione delle chiavi e certificazione: *Certificati*



Certificato di un server web firmato da una CA non riconosciuta dal browser

Distribuzione delle chiavi e certificazione: *Certificati*



Certificato di un server web firmato da una CA riconosciuta dal browser

Sicurezza a livello di rete: IPsec (IP security)

- La cifratura continua ad essere *end-to-end* ma viene effettuata nel livello di rete sui pacchetti IP e quindi diventa disponibile a tutti i protocolli che usano IP (oltre TCP, UDP, ICMP, SNMP, …).
- Per quanto concerne l'autenticazione, in questo caso questa può avvenire anche nei confronti di indirizzi IP.
- IPsec si compone di due protocolli:
  - ***Authentication Header* (AH) *protocol***
  - ***Encapsulation Security Payload* (ESP) *protocol***

Sicurezza a livello di rete: IPsec (IP security)

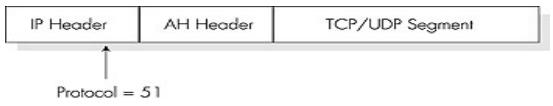
- Alcuni esempi di utilizzo di IPsec sono:
  - Interconnessione sicura di reti aziendali tramite Internet (in sostanza permette la realizzazione di ***Virtual Private Network*** (VPN)).
  - Accesso remoto sicuro in Internet.
  - Interconnessione sicura fra organizzazioni diverse via Internet.
  - Migliore sicurezza nel commercio elettronico.

Sicurezza a livello di rete: IPsec (IP security)

- Ambedue i protocolli di IPsec (ESP e AH) operano tramite una canale logico a livello di rete chiamato ***Security Association*** (**SA**), creato tra sorgente e destinazione con un *handshake*.
- L'SA è
  - Unidirezionale
  - Univocamente determinato da:
    - » Protocollo di sicurezza usato (ESP o AH).
    - » Indirizzo IP della sorgente.
    - » ID a 32 bit della connessione (SPI, *Security Parameter Index*).

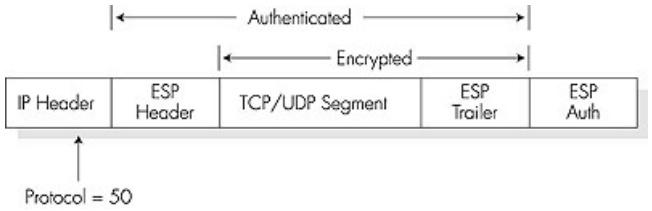
Sicurezza a livello di rete: IPsec - AH

- Fornisce l'autenticazione dell'*host* e l'integrità dei dati ma non la riservatezza.
- L'intestazione AH viene inserita fra quella IP ed i dati
- Il numero di protocollo è il 51
- I *router* intermedi elaborano il *datagram* in modo usuale.
- L'intestazione dell'AH comprende:
  - Un identificatore di connessione
  - Un *digest* "firmato"e calcolato sul *datagram* originale
  - Un campo che specifica il tipo di dati trasportati (UDP, TCP, ICMP…)
  - Un numero di sequenza



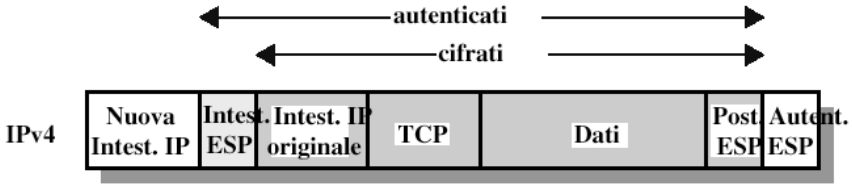
Sicurezza a livello di rete: IPsec - ESP

- Fornisce la riservatezza, l'autenticazione dell'host e l'integrità dei dati
- I dati e il postambolo dell'ESP sono cifrati
- L'indicazione della successiva intestazione è nel postambolo ESP.
- Il campo di autenticazione del ESP è simile ha quello dell'AH
- Il numero di protocollo contenuto nell'intestazione IP quando si usa ESP è 50



Sicurezza a livello di rete: IPsec - Modalità di trasporto

- Due sono le modalità di funzionamento:
  - Modalità di trasporto
  - Modalità Tunnel
    - » applicabile se le due entità sono apparati intermedi come *router*.
    - » permette comunicazioni sicure a terminali che non usano IPsec.
    - » Permette la cifratura dell'intero pacchetto IP.



Sicurezza a livello di rete: IPsec - SA

- Per il funzionamento di IPSec é necessario un meccanismo automatico per lo scambio e la gestione delle chiavi
  - *Internet Key Exchange* (IKE, RFC 2409) é il protocollo di default per lo scambio delle chiavi dell'IPSec
  - *Internet Security Association and Key Management Protocol* (ISKMP, RFC 2047 e 2048) definisce le procedure per stabilire ed interrompere gli SA. L'associazione per la sicurezza ISKMP é completamente separata dallo scambio di chiavi IKE.