Sicurezza delle applicazioni di rete

Antonio Lioy
< lioy @ polito.it >

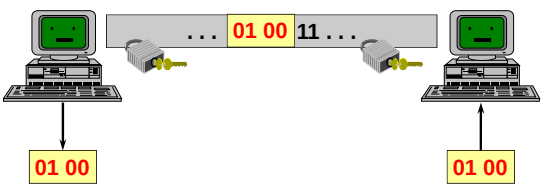
Politecnico di Torino
Dip. Automatica e Informatica

Situazione standard

- **autenticazione ed autorizzazione basate su username e password**
  - problema: password snooping
- **autenticazione basata su indirizzo IP (server web; comandi R = rsh, rlogin, rcp, ...)**
  - problema: IP spoofing
- **problemi generali:**
  - data snooping / forging
  - shadow server / MITM

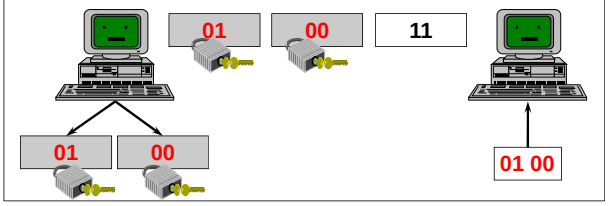
Sicurezza di canale

- **autenticazione (singola o mutua), integrità e segretezza solo durante il transito nel canale**
- **nessuna possibilità di non ripudio**
- **richiede poca (o nulla) modifica alle applicazioni**

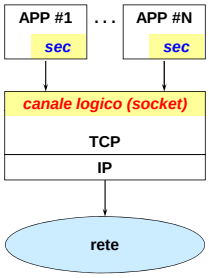


Sicurezza di messaggio (o dei dati)

- autenticazione (singola), integrità e segretezza auto-contenute nel messaggio
- possibilità di non ripudio
- richiede modifica alle applicazioni

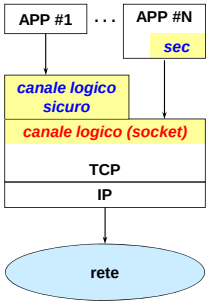


Sicurezza interna alle applicazioni



- ogni applicazione implementa la sicurezza al proprio interno
- la parte in comune si limita ai canali di comunicazione (socket)
- possibili errori di implementazione (inventare protocolli di sicurezza non è semplice!)
- non garantisce l'interoperabilità

Sicurezza esterna alle applicazioni



- il livello sessione sarebbe ideale per implementare molte funzioni di sicurezza
- … ma non esiste in TCP/IP!
- è stato proposto un livello "sessione sicura":
  - semplifica il lavoro degli sviluppatori applicativi
  - evita possibili errori di implementazione
  - a scelta dell'applicazione

Protocolli di sicurezza orientati al canale di comunicazione

- **SSL / TLS**
  - il più diffuso al mondo
- **SSH**
  - ha avuto un momento di gloria (legato ai divieti di esportazione USA), ma oggi è una soluzione di nicchia
- **PCT**
  - proposto da MS come alternativa a SSL
  - uno dei pochi fiaschi di MS!

SSL (Secure Socket Layer)

- **proposto da Netscape Communications**
- **protocollo di trasporto sicuro (circa livello sessione):**
  - autenticazione (server, server+client)
  - riservatezza dei messaggi
  - autenticazione ed integrità dei messaggi
  - protezione da replay e da filtering
- **applicabile facilmente a tutti i protocolli basati su TCP:**
  - HTTP, SMTP, NNTP, FTP, TELNET, ...
  - es. famoso HTTP sicuro (https://....) = 443/TCP

Porte ufficiali per applicazioni SSL

```
nsiiops      261/tcp # IIOP Name Service over TLS/SSL
https        443/tcp # http protocol over TLS/SSL
smtps        465/tcp # smtp protocol over TLS/SSL (was ssmtp)
nntps        563/tcp # nntp protocol over TLS/SSL (was snntp)
imap4-ssl    585/tcp # IMAP4+SSL (use 993 instead)
sshell       614/tcp # SSLshell
ldaps        636/tcp # ldap protocol over TLS/SSL (was sldap)
ftps-data    989/tcp # ftp protocol, data, over TLS/SSL
ftps         990/tcp # ftp protocol, control, over TLS/SSL
telnets      992/tcp # telnet protocol over TLS/SSL
imaps        993/tcp # imap4 protocol over TLS/SSL
ircs         994/tcp # irc protocol over TLS/SSL
pop3s        995/tcp # pop3 protocol over TLS/SSL (was spop3)
msft-gc-ssl 3269/tcp # MS Global Catalog with LDAP/SSL
```

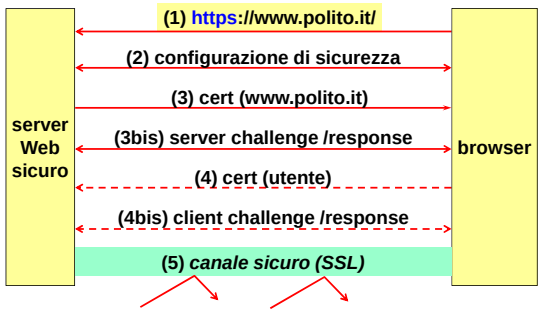
SSL - autenticazione e integrità

- **peer authentication all'apertura del canale:**
  - il server si autentica presentando la propria chiave pubblica (certificato X.509) e subendo una sfida asimmetrica
  - l'autenticazione del client (con chiave pubblica e certificato X.509) è opzionale
- **per l'autenticazione e l'integrità dei dati scambiati il protocollo prevede:**
  - un keyed digest (MD5 o SHA-1)
  - un MID per evitare *replay* e cancellazione

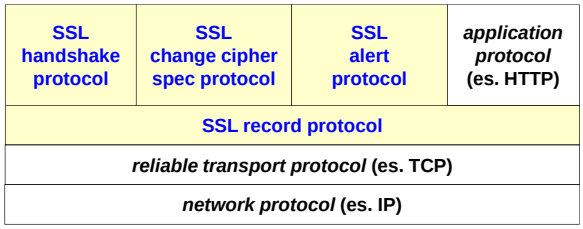
SSL - riservatezza

- **il client genera una session key utilizzata per la cifratura simmetrica dei dati (RC2, RC4, DES, 3DES o IDEA)**
- **la chiave viene comunicata al server cifrandola con la chiave pubblica del server (RSA, Diffie Hellman o Fortezza-KEA)**

SSL



Architettura di SSL-3



Session-id

Tipica transazione Web:

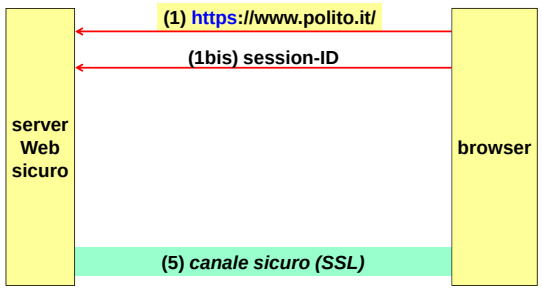
- **1. open, 2. GET page.htm, 3. page.htm, 4. close**
- **1. open, 2. GET home.gif, 3. home.gif, 4. close**
- **1. open, 2. GET logo.gif, 3. logo.gif, 4. close**
- **1. open, 2. GET back.jpg, 3. back.jpg, 4. close**
- **1. open, 2. GET music.mid, 3. music.mid, 4. close**

Se ogni volta si devono rinegoziare i parametri crittografici per SSL, il collegamento si appesantisce molto.

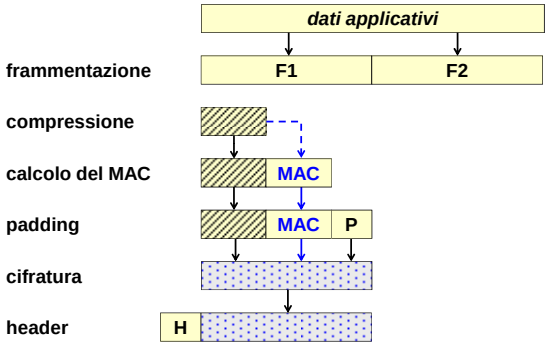
Session-id

- **per evitare di ri-negoziare ad ogni connessione i parametri crittografici, il server SSL può offrire un session identifier (ossia più connessioni possono far parte della stessa sessione logica)**
- **se il client, all'apertura della connessione, presenta un *session-id* valido si salta la fase di negoziazione e si procede subito col dialogo SSL**
- **il server può rifiutare l'uso del session-id (in assoluto o dopo un certo tempo dalla sua emissione)**

SSL con session-ID



SSL-3 record protocol



TLS-1.0 record format

- **uint8 type = change_cipher_spec (20), alert (21), handshake (22), application_data (23)**
- **uint16 version = major (uint8) + minor (uint8)**
- **uint16 length:**
  - <= 2**14 (record non compressi) per compatibilità con SSL-2
  - <= 2**14 + 1024 (record compressi)

type	
major	minor
length	
. . . fragment [length] . . .	

TLS - calcolo del MAC

```
MAC = message_digest ( key, seq_number ||
type || version || length || fragment )
```

- **message_digest**
  - dipende dall'algoritmo scelto
- **key**
  - sender-write-key o receiver-read-key
- **seq_number**
  - intero a 32 bit

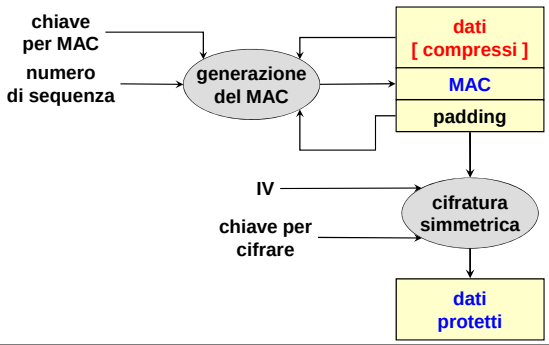
SSL-3: novità rispetto a SSL-2

- **compressione dei dati:**
  - opzionale
  - prima della cifratura (dopo non serve …)
- **opzionalità della cifratura dei dati:**
  - per avere solo autenticazione e integrità
- **possibilità di rinegoziare la connessione:**
  - cambio periodico delle chiavi
  - cambio degli algoritmi

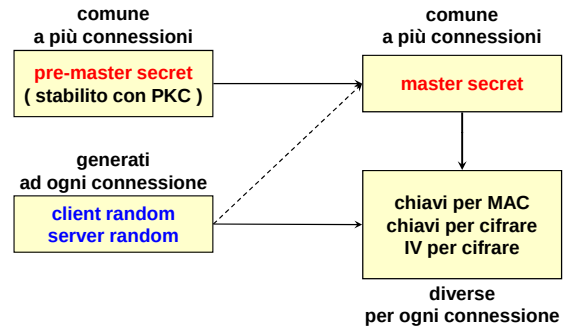
SSL-3 handshake protocol

- **concordare una coppia di algoritmi per confidenzialità ed integrità**
- **scambiare dei numeri casuali tra client e server per la successiva generazione delle chiavi**
- **stabilire una chiave simmetrica tramite operazioni a chiave pubblica (RSA, DH o Fortezza)**
- **negoziare il session-id**
- **scambiare i certificati necessari**

Confidenzialità dei dati

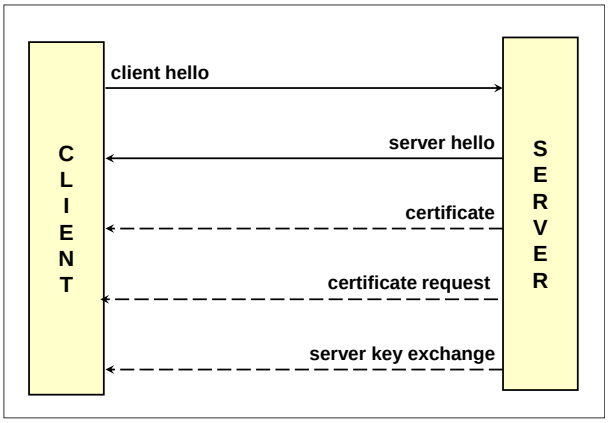


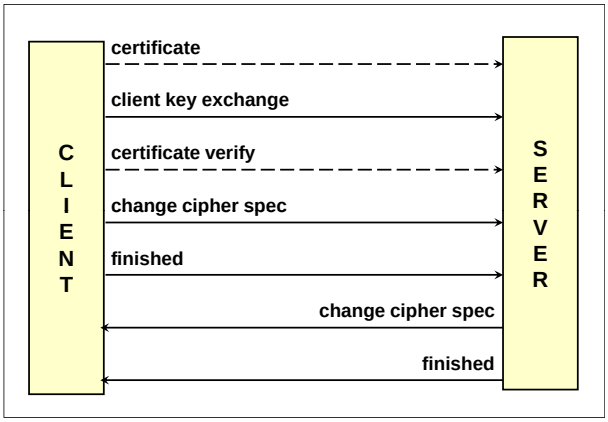
Rapporto tra chiavi e sessioni



Meccanismi "effimeri"

- **chiavi usa-e-getta generate al volo:**
  - per avere autenticazione devono essere firmate (es. devo avere un certificato X.509)
  - DH adatto, RSA lento
    - compromesso per RSA = riuso N volte
- **perfect forward secrecy:**
  - chi conosce la chiave privata può decifrare tutte le sessioni
  - con meccanismi effimeri la chiave privata del server viene usata solo per firma





Client hello

- **versione di SSL preferita dal client**
- **28 byte generati in modo pseudo-casuale**
- **un identificatore di sessione (session-id)**
  - 0 per iniziare una nuova sessione
  - diverso da 0 per chiedere di riesumare una sessione precedente
- **elenco delle "cipher suite" (=algo di cifratura + scambio chiavi + integrità) supportate dal client**
- **elenco dei metodi di compressione supportati dal client**

Server hello

- **versione di SSL scelta dal server**
- **28 byte generati in modo pseudo-casuale**
- **un identificatore di sessione (session-id)**
  - nuovo session-id se session-id=0 nel client-hello oppure rifiuta il session-id proposto dal client
  - session-id proposto dal client se il server accetta di riesumare la sessione
- **"cipher suite" scelta dal server**
  - dovrebbe essere la più forte in comune col client
- **metodo di compressione scelto dal server**

Cipher suite

- **algoritmo di scambio chiavi**
- **algoritmo di cifratura simmetrico**
- **algoritmo di hash (per il MAC)**

- **esempi:**
  - SSL_NULL_WITH_NULL_NULL
  - SSL_RSA_WITH_NULL_SHA
  - SSL_RSA_EXPORT_WITH_RC2_CBC_40_MD5
  - SSL_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA

Certificate (server)

- **certificato per server authentication**
  - il subject / subjectAltName deve coincidere con l'identità del server (nome DNS, indirizzo IP, ...)
- **può essere solo di firma od anche per cifratura**
  - descritto nel campo keyUsage
  - se è solo per firma allora è poi necessaria la fase server-key exchange

Certificate request

- **serve per autenticazione del client**
- **specifica anche la lista delle CA che il server ritiene fidate**
  - i browser mostrano all'utente per il collegamento solo i certificati emessi da CA fidate

Server key exchange

- **contiene la chiave pubblica di cifratura del server**
- **richiesto solo nei seguenti casi:**
  - server ha certificato RSA solo per firma
  - si usa DH anonimo o effimero per stabilire il master-secret
  - ci sono problemi di export e si devono usare chiavi RSA/DH temporanee
  - Fortezza
- **importante: unico messaggio con firma esplicita del server**

Certificate (client)

- **trasporta il certificato per la client authentication**
- **il certificato deve essere stato emesso da una delle CA fidate elencate dal server nel messaggio Certificate Request**

Client key exchange

- **varie possibilità**
  - pre-master secret cifrato con la chiave pubblica RSA del server (temporanea o dal certificato)
  - parte pubblica di DH
  - Fortezza

Certificate verify

- **prova esplicita di firma**
- **hash calcolato su tutti i messaggi di handshake che precedono questo e firmato con la chiave privata del client**

Change cipher spec

- **provoca l'aggiornamento degli algoritmi da usare per la protezione**
- **permette di passare dai messaggi precedenti in chiaro all'uso nei messaggi successivi degli algoritmi appena negoziati**
- **a rigore fa parte di un protocollo specifico e non dell'handshake**
- **varie analisi indicano come sia eliminabile**

Finished

- **primo messaggio protetto con gli algoritmi negoziati**
- **fondamentale per autenticare tutto lo scambio**
  - contiene un MAC calcolato su tutti i messaggi di handshake precedenti (escluso change cipher spec) tramite l'uso del master secret
  - evita attacchi man-in-the-middle di tipo rollback
  - differenziato per client e server

TLS 1.0 (SSL 3.1)

- **Transport Layer Security**
- **standard IETF:**
  - TLS-1.0 = RFC-2246 (jan 1999)
  - TLS-1.1 = RFC-4346 (apr 2006)
- **TLS-1.0 = SSL-3.1 (al 99% coincide con SSL-3)**
- **enfasi su algoritmi crittografici e di digest standard (non proprietari); supporto obbligatorio:**
  - DH + DSA + 3DES
  - HMAC
  - ... ossia la ciphersuite TLS_DHE_DSS_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA

TLS-1.1 (SSL 3.2)

- **RFC-4346**
- **per proteggere da attacchi contro CBC:**
  - IV implicito rimpiazzato da IV esplicito
  - errori di padding ora usano il messaggio di alert bad_record_mac (invece di decryption_failed)
- **registrazione IANA dei parametri del protocollo**
- **una chiusura prematura del canale non implica più che non si possa riprendere la sessione**
- **note addizionali per chiarire vari possibili attacchi**

TLS-1.2 (SSL 3.3)

- **RFC-5246**
- **ciphersuite specifica anche la PRF (pseudo-random function)**
- **uso esteso di SHA-256 (es. in Finished, HMAC)**
- **supporto per authenticated encryption (AES in modo GCM o CCM)**
- **incorpora le estensioni (RFC-4366) e le AES ciphersuite (RFC-3268)**
- **default ciphersuite TLS_RSA_WITH_AES_128_CBC_SHA**
- **deprecate le ciphersuite con IDEA e DES**

Evoluzione di TLS

- **ciphersuites:**
  - (RFC-2712) Kerberos ciphersuites for TLS
  - (RFC-3268) AES ciphersuites for TLS
  - (RFC 4492) ECC cipher suites for TLS
  - (RFC-4132) Camellia ciphersuites for TLS
  - (RFC-4279) pre-shared key ciphersuites for TLS
- **compressione:**
  - (RFC-3749) TLS compression methods
  - (RFC-3943) TLS protocol compression using LZS
- **altro:**
  - (RFC-4366) TLS extensions

DTLS

- **Datagram Transport Layer Security (RFC-4347)**
- **applica i concetti di TLS alla sicurezza dei datagrammi (es. UDP)**
- **non offre tutti i servizi di sicurezza di TLS**
- **in competizione con IPsec e sicurezza applicativa**
- **esempio – sicurezza di SIP:**
  - con IPsec
  - con TLS (solo per SIP_over_TCP)
  - con DTLS (solo per SIP_over_UDP)
  - con secure SIP

Sicurezza di HTTP

- **meccanismi di sicurezza definiti in HTTP/1.0:**
  - "address-based" = il server controlla l'accesso in base all'indirizzo IP del client
  - "password-based" (o Basic Authentication Scheme) = accesso limitato da username e password, codificate con Base64
- **entrambi gli schemi sono altamente insicuri (perché HTTP suppone che sia sicuro il canale!)**
- **HTTP/1.1 introduce "digest authentication" basata su sfida simmetrica**
- **RFC-2617 "HTTP authentication: basic and digest access authentication"**

HTTP - basic authentication scheme

```
GET /path/alla/pagina/protetta HTTP/1.0
   HTTP/1.0 401 Unauthorized - authentication failed
   WWW-Authenticate: Basic realm="RealmName"
Authorization: Basic B64_encoded_username_password
   HTTP/1.0 200 OK
   Server: NCSA/1.3
   MIME-version: 1.0
   Content-type: text/html
   <HTML> pagina protetta ... </HTML>
```

HTTP e SSL/TLS

- **due alternative:**
  - "TLS then HTTP"
    (RFC-2818 – HTTP over TLS)
  - "HTTP then TLS"
    (RFC-2817 – upgrading to TLS within HTTP/1.1)
  - nota: "SSL then HTTP" usato ma non documentato
- **non equivalenti e con impatto su applicazioni, firewall e IDS**
- **concetti applicabili in generale a tutti protocolli:**
  - "SSL/TLS then proto" vs. "proto then TLS"

Sicurezza del WWW

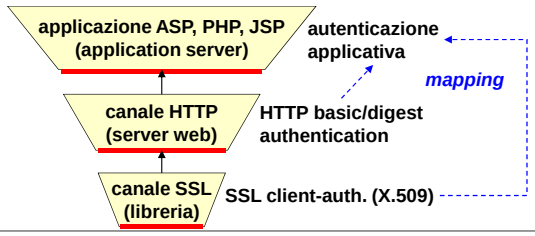
- **canale SSL:**
  - protezione delle transazioni
  - protezione delle password applicative
- **password (per Basic/Digest Authentication):**
  - del servizio HTTP
  - del S.O. che ospita il server (es. NT o UNIX)
- **ACL per accedere ai documenti:**
  - in funzione dell'autenticazione effettuata (utenti del S.O., DN per X.509)

Client authentication SSL a livello applicativo

- **tramite la client authentication è possibile identificare l'utente che ha aperto un canale (senza richiedergli username e password)**
- **alcuni server web permettono di fare un mapping (semi-)automatico tra credenziali estratte dal certificato X.509 e utenti del server web e/o del S.O.**

Autenticazione nelle applicazioni web

- **più in basso si fà il controllo e meno parti si espongono agli attacchi**
- **inutile ripetere l'autenticazione (id propagabile)**



Come introdurre username e password?

- la sicurezza effettiva dipende dalla URI del metodo usato per inviare username e password al server
- tecnicamente, non importa la sicurezza della pagina in cui si introducono i dati
- psicologicamente è importante la sicurezza della pagina in cui si introducono i dati perché pochi utenti hanno le conoscenze tecniche necessarie a verificare la URI del metodo usato per l'invio

S-HTTP

- nuova versione del protocollo HTTP-1.0 sviluppato da EIT-Terisa
- incapsula comandi e risposte HTTP in una busta sicura (PEM, PGP o PKCS-7)
- negoziazione chiavi: in-line, OOB o con Kerberos
- certificati: X.509 o PKCS-6
- firme: RSA o DSA
- digest: MD2, MD5 o SHA-1
- crittografia: DES, IDEA, RC2, RC4
- RFC-2660 "The Secure HTTP"
- RFC-2659 "Security extensions for HTML"

Sistemi di pagamento elettronico

- fallimento della moneta elettronica per problemi tecnici e normativi (es. bancarotta di DigiCash)
- attualmente il metodo più usato è trasmissione del numero di carta di credito su canale SSL ...
- ... che però non garantisce contro le frodi: VISA Europa dichiara che il 50% dei tentativi di frode nascono da transazioni Internet, che però sono solo il 2% del suo volume d'affari!

Sicurezza delle transazioni basate su carta di credito

- **STT**
  (Secure Transaction Technology)
  VISA + Microsoft
- **SEPP**
  (Secure Electronic Payment Protocol)
  Mastercard, IBM, Netscape, GTE, CyberCash
- **SET = STT + SEPP**
  (Secure Electronic Transaction)

SET

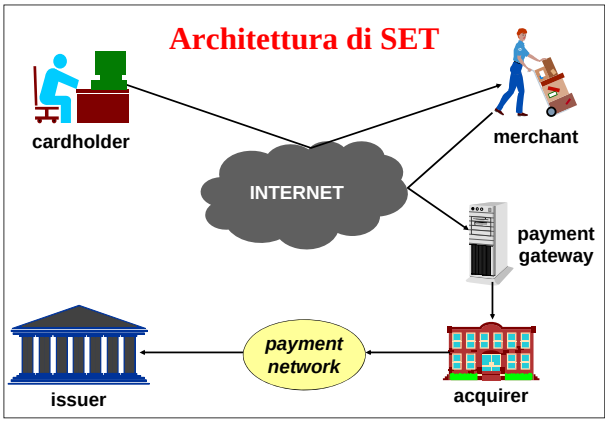
- **SET non è un sistema di pagamento ma un insieme di protocolli per usare in rete aperta in modo sicuro un'infrastruttura esistente basata su carte di credito**
- **usa certificati X.509v3 dedicati esclusivamente alle transazioni SET**
- **assicura la privacy degli utenti perché mostra a ciascuna parte solo i dati che le competono**

Caratteristiche di SET

- **versione 1.0 (maggio 1997)**
- **digest: SHA-1**
- **crittografia simmetrica: DES**
- **scambio chiavi: RSA**
- **firma digitale: RSA con SHA-1**

- **www.setco.org**

Architettura di SET



Attori in SET (I)

- **cardholder**
  legittimo possessore di una carta di credito aderente a SET
- **merchant**
  venditore di un prodotto via Internet (Web o e-mail)
- **issuer**
  istituto finanziario che ha emesso la carta di credito dell'utente

Attori in SET (II)

- **acquirer**
  organizzazione finanziaria che stabilisce un rapporto col mercante e lo interfaccia con uno o più circuiti di pagamento
- **payment gateway**
  sistema che traduce transazioni SET nel formato richiesto dal circuito di pagamento dell'acquirer
- **certification authority**
  emette certificati X.509v3 e CRL X.509v2 per tutti gli altri attori di SET

Doppia firma SET

- per garantire privacy all'utente nei confronti di merchant e del sistema finanziario (acquirer + issuer) si usa una doppia firma
- al merchant non vengono fatti sapere gli estremi del pagamento
- alla banca non viene fatto sapere quale merce si è acquistata
- solo l'utente può dimostrare l'associazione tra merce e pagamento

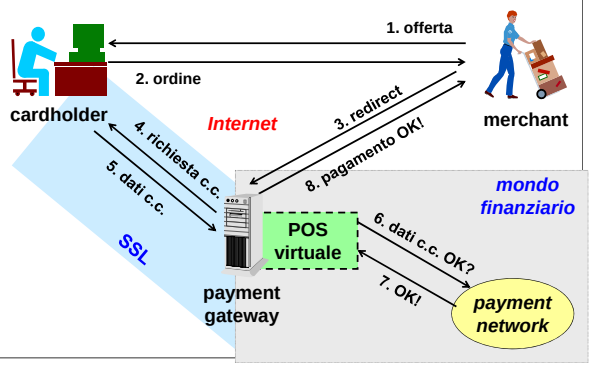
Doppia firma SET: dettagli

- PI: Purchase Information (pagamento)
- OI: Order Information (merce)
- DS = E (H(H(PI),H(OI)), Ukpri)
- OI+DS+H(PI) al merchant
- merchant conosce OI e può calcolare H(H(PI),H(OI)) verificando che corrisponda al valore estratto dalla firma
- PI+DS+H(OI) all'acquirer
- acquirer conosce PI e può calcolare H(H(PI),H(OI)) verificando che corrisponda al valore estratto dalla firma

Problemi di SET

- software molto caro (sia per le CA, sia per il merchant e l'acquirer)
- necessita di un'applicazione speciale dal lato utente (SET wallet)
- procedura di rilascio del certificato a chiave pubblica per gli utenti complessa
- in sviluppo la versione 2.0 di SET che farà a meno del wallet (userà un browser)

Architettura di pagamento via Web



Pagamento con carta di credito via Web

- **ipotesi base:**
  - l'acquirente possiede una carta di credito
  - l'acquirente ha un browser con SSL
- **conseguenze:**
  - la sicurezza effettiva dipende dalla configurazione sia del server sia del client
  - il payment gateway ha tutte le informazioni (pagamento + merce) mentre il merchant ha solo le informazioni sulla merce

PCI DSS

- **Payment Card Industry Data Security Standard**
- **oggi richiesto da tutte le carte di credito per transazioni Internet**
- **molto più prescrittivo rispetto ad altre norme di sicurezza (es. HIPAA = Health Insurance Portability and Accountability Act)**
- **https://www.pcisecuritystandards.org**

Requisiti PCI DSS (I)

- **costruire e mantenere una rete protetta:**
  - R1 = installare e mantenere una configurazione con firewall per proteggere i dati dei titolari delle carte
  - R2 = non usare password di sistema predefinite o altri parametri di sicurezza impostati dai fornitori
- **proteggere i dati dei titolari delle carte:**
  - R3 = proteggere i dati dei titolari delle carte memorizzati
  - R4 = cifrare i dati dei titolari delle carte quando trasmessi attraverso reti pubbliche aperte

Requisiti PCI DSS (II)

- **rispettare un programma per la gestione delle vulnerabilità**
  - R5 = usare e aggiornare con regolarità l'antivirus
  - R6 = sviluppare e mantenere applicazioni e sistemi protetti
- **implementare misure forti per il controllo accessi**
  - R7 = limitare l'accesso ai dati dei titolari delle carte solo se effettivamente indispensabili per lo svolgimento dell'attività commerciale
  - R8 = dare un ID univoco ad ogni utente del SI
  - R9 = limitare la possibilità di accesso fisico ai dati dei titolari delle carte

Requisiti PCI DSS (III)

- **monitorare e testare le reti con regolarità**
  - R10 = monitorare e tenere traccia di tutti gli accessi effettuati alle risorse della rete e ai dati dei titolari delle carte
  - R11 = eseguire test periodici dei processi e dei sistemi di protezione
- **adottare una Politica di Sicurezza**
  - R12 = adottare una Politica di Sicurezza