Standard di crittografia pubblica: DES, AES

Lezione 5 di Sicurezza dei sistemi informatici 1

Docente: Giuseppe Scollo

Università di Catania, sede di Comiso (RG)
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Studi in Informatica applicata, AA 2008-9

Indice

DES, cenni storici e requisiti

***Data Encryption Standard* (DES):** il primo standard per la crittografia pubblica

1972: il ***National Bureau of Standards* (NBS)** degli Stati Uniti pubblica un primo bando per un algoritmo di crittografia per uso pubblico

***motivazione*:** proliferazione di sistemi di crittografia commerciali → **incompatibilità**

1974: un secondo bando NBS ha miglior fortuna: risponde IBM, con una variante del suo algoritmo ***Lucifer***, già pubblicato in precedenza

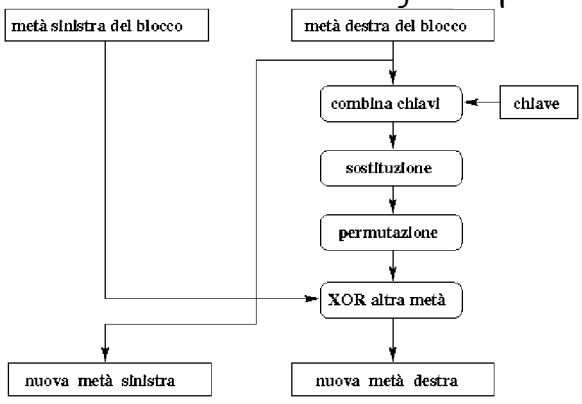
1976: il ***Data Encryption Algorithm* (DEA)** proposto da IBM, superata l'analisi della ***National Security Agency* (NSA)**, è adottato come standard federale **DES**

requisiti posti nel bando NBS per l'algoritmo:

ad alto livello di sicurezza
specificato e facilmente comprensibile
pubblicabile (sicurezza indipendente dalla segretezza dell'algoritmo)
disponibile a tutti gli utenti
adattabile all'uso per molteplici applicazioni diverse
economico da implementare
efficiente nell'uso
convalidabile
esportabile

l'algoritmo DES

DES opera una cifratura **simmetrica a blocchi**, di 64 bit ciascuno, con **chiave da 56 bit** su ciascun blocco, la cifratura DES combina **sostituzione** e **trasposizione** (permutazione del blocco), e inoltre, dopo una permutazione iniziale, opera **16 iterazioni** di tale combinazione (seguite da permutazione finale):



schema di massima del ciclo DES di sostituzione e permutazione

DES doppio, triplo, validità di DES

la più discussa vulnerabilità di DES è dovuta alla limitata lunghezza della chiave:

l'esplorazione di 2^{56} possibilità, per violare la chiave in un attacco a testo in chiaro e testo cifrato, è alla portata della tecnologia attuale

1997: *prima violazione ufficiale di una chiave DES, con un algoritmo eseguito in parallelo da 3500 macchine in 4 mesi;*

1998: *macchina ad hoc (costo ~100 kEUR) viola una chiave DES in 4 giorni*

problema: l'algoritmo DES non si generalizza a una maggiore lunghezza della chiave

soluzione n. 1, *DES doppio* : $DES2(k_1, k_2, M) = DES(k_2, DES(k_1, M))$

non ha la forza del raddoppio di lunghezza della chiave:

Merkle & Hellman (1981): un attacco al ***testo in chiaro conosciuto*** *genera 2^{56} cifrature DES del testo in chiaro e 2^{56} decifrazioni DES del testo cifrato si trova la coppia di chiavi con algoritmi efficienti di ricerca di coincidenze*

soluzione n. 2, *DES triplo* : $DES3(k_1, k_2, M) = DES(k_1, DES^{-1}(k_2, DES(k_1, M)))$

meglio di DES2, ma **non** ha la forza del raddoppio di lunghezza della chiave:

debolezza simile a quella di DES2, ma per attacco al ***testo in chiaro scelto****, v. Merkle & Hellman (1981)*

AES, cenni storici e requisiti

***Advanced Encryption Standard* (AES):**

l'intrinseca vulnerabilità di DES, anche se di rilevanza pratica solo nel medio-lungo periodo, giustifica la ricerca di uno standard più sicuro per la crittografia pubblica

1997: *bando del National Institute of Standards and Technology (NIST) USA per un nuovo algoritmo pubblico di crittografia*

1998: *selezione di 15 algoritmi fra quelli sottoposti*

1999: *riduzione della selezione a 5 finalisti, per analisi pubblica e privata*

2001: *adozione ufficiale dell'algoritmo* ***Rijndael****, proposto dai crittografi olandesi Vincent Rijmen e Joan Daemen, quale standard AES*

tutti gli algoritmi finalisti soddisfacevano tutti i requisiti posti nel bando: scelta finale determinata da **efficienza** e **semplicità** di implementazione di Rijndael

requisiti posti nel bando NIST per l'algoritmo:

non segreto
divulgato pubblicamente
disponibile per l'uso mondiale senza diritti di sfruttamento
per cifratura simmetrica a blocchi, con blocchi da 128 bit
usabile con chiavi da 128, 192 e 256 bit

l'algoritmo AES: Rijndael

come DES, Rijndael combina sostituzione e trasposizione, con operazioni elementari di scorrimento, XOR, etc., in più iterazioni, però:

- il numero delle iterazioni dipende dalla lunghezza della chiave: 9, 11, 13, rispettivamente per lunghezza della chiave pari a 128, 192, 256 bit
- ad ogni iterazione si impiega una chiave specifica, o **sottochiave**, derivata da una porzione della chiave
- ogni iterazione opera in sequenza quattro trasformazioni sul blocco:
  - ***sostituzione dei byte:*** *confusione diretta*
  - ***scorrimento delle righe:*** *il blocco è diviso in 4 righe di egual lunghezza, a ciascuna delle quali si applica uno scorrimento circolare di diversa entità*
  - ***mescolamento delle colonne:*** *scorrimento e XOR → diffusione*
  - ***aggiunta della sottochiave*** *(XOR)*

la base matematica di Rijndael è nella teoria dei campi di Galois

validità di Rijndael

l'algoritmo Rijndael soddisfa i tre criteri di validità per sistemi di crittografia commerciale, sebbene sia da considerare ancora relativamente giovane

a fronte della sua relativa novità, va tenuto in conto che:

- ha superato le criptoanalisi, pubbliche e di esperti, nel periodo di valutazione
- è stato prodotto da crittografi indipendenti dal committente (governo USA)
- a differenza di DES, è basato su un metodo matematico generale, che può essere applicato anche:
  - *per lunghezze della chiave superiori a quelle specificate*
  - *con un numero maggiore di iterazioni*
- dunque è ben protetto contro le minacce della "legge di Moore"

riferimenti

Merkle & Hellman (1981) :
On the Security of Multiple Encryption,
Comm. of the ACM **24**(7), 465-467, 1981.
http://portal.acm.org/citation.cfm?id=358718&dl=ACM&coll=portal

Daemen & Rijmen (1999) :
The Rijndael Block Cipher: AES Proposal,
Document version 2, NIST, 03/09/1999.
http://csrc.nist.gov/encryption/aes/rijndael/Rijndael.pdf

Daemen & Rijmen (2000) :
The Block Cipher Rijndael,
in: *Smart Card. Research and Applications*, Springer, LNCS **1820**, 277-284, 2000.
http://www.springerlink.com/content/978-3-540-67923-3

AES Lounge :
IAIK Krypto Group, TU Graz
http://www.iaik.tu-graz.ac.at/research/krypto/AES