Accordo su Chiavi con OpenSSL

Alfredo De Santis

Dipartimento di Informatica
Università di Salerno

ads@unisa.it

Maggio 2020

Outline

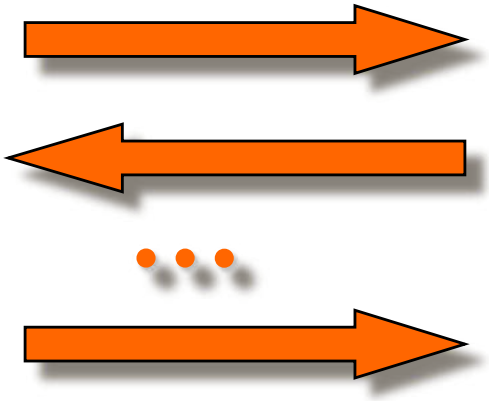
- Concetti Preliminari
- Accordo su Chiavi in OpenSSL

Outline

- **Concetti Preliminari**
- Accordo su Chiavi in OpenSSL

Accordo su una Chiave

Alice



Bob

K

K

Accordo su Chiavi

Principali Tecniche

- Diffie-Hellman (DH)
  - Basato sull'intrattabilità del problema del logaritmo discreto
- Puzzle di Merkle
  - Non basato su alcuna assunzione computazionale

Outline

- Concetti Preliminari
- **Accordo su Chiavi in OpenSSL**

DH in OpenSSL

Generazione dei Parametri

- Mediante il comando **dhparam** è possibile generare i parametri pubblici dello schema DH

Opzioni principali del comando `dhparam`

```
openssl dhparam [options] [numbits]
```

- **options**
  - **-inform arg** Formato di input, dove **arg** può essere DER o PEM
  - **-outform arg** Formato di output, dove **arg** può essere DER o PEM
  - **-in arg** Dove **arg** è il file di input
  - **-out arg** Dove **arg** è il file di output
  - **-text** Stampa i parametri Diffie-Hellman in formato testuale
  - **-2** Genera i parametri usando 2 come valore del generatore
  - **-5** Genera i parametri usando 5 come valore del generatore
- **numbits**
  - Numero di bit dei parametri da generare, di default sono 2048

DH in OpenSSL

Generazione dei Parametri

- Mediante il comando **dhparam** è possibile generare i parametri pubblici dello schema DH

Opzioni principali del comando `dhparam`

```
openssl dhparam [options] [numbits]
```

- **options**
  - **-inform arg** Formato di i
  - **-outform arg** Formato di
  - **-in arg** Dove **arg** è il file di inpu
  - **-out arg** Dove **arg** è il file di o
  - **-text** Stampa i parametri Diffie-Hellman in formato testuale
  - **-2** Genera i parametri usando 2 come valore del generatore
  - **-5** Genera i parametri usando 5 come valore del generatore
- **numbits**
  - Numero di bit dei parametri da generare, di default sono 2048

OpenSSL supporta solo questi due valori per la generazione dei parametri

- Il valore di default è 2

DH in OpenSSL

Generazione dei Parametri

- Mediante il comando **dhparam** è possibile generare i parametri pubblici dello schema DH

Opzioni principali del comando `dhparam`

```
openssl dhparam [options] [numbits]
```

- **options**
  - **-inform arg** Formato put, dove **arg** può essere DER o PEM
  - **-outform arg** Formato tput, dove **arg** può essere DER o PEM
  - **-in arg** Dove **arg**
  - **-out arg** Dove **arg**
  - **-text** Stampa i par mato testuale
  - **-2** Genera i parame generatore
  - **-5** Genera i parame generatore
- **numbits**
  - Numero di bit dei parametri da generare, di default sono 2048

Per ottenere la lista completa delle opzioni del comando **dhparam** è possibile utilizzare **man dhparam**

DH in OpenSSL

Esempio di Generazione dei Parametri

- Mediante il seguente comando vengono generati i parametri pubblici per DH e vengono salvati nel file **dhparams.pem**

```
openssl dhparam -out dhparams.pem -2 1024
```

Output del comando

```
Generating DH parameters, 1024 bit long safe prime, generator 2
This is going to take a long time
.....+.....+.....
.....+.....
.....+.....+.....+..
.....
.....+.....+.....
....+.....+.....+.....
.....+.+.....
.....
.....+.....+.
+.....+.....+.....+.....+.....
.....+.....
.....
.....
.....+.....
.....
.....+.....+.....+.....
+.....
.....+.....
.....+.....
.....+.....++*++++**
```

DH in OpenSSL

File dhparams.pem

- Utilizzando il seguente comando è possibile visualizzare i parametri generati

```
openssl dhparam -in dhparams.pem -text
```

```
Diffie-Hellman-Parameters: (1024 bit)
    prime:
        00:9e:e7:b3:91:2a:2c:6e:ca:38:cd:80:2d:c3:47:
        24:14:ed:64:a1:98:45:07:16:4d:e9:e2:2d:1e:84:
        15:80:d9:3c:fc:d6:63:db:ff:8f:33:31:36:ef:0d:
        e3:9d:7a:af:1c:a2:6a:ca:e7:9e:53:6f:a8:c6:a1:
        26:95:ce:17:ea:9d:cd:c8:11:69:21:e2:2c:bd:25:
        fe:20:dc:9f:49:c5:33:58:fd:8d:7c:07:57:6c:1c:
        5a:b3:73:45:22:4d:ef:d5:34:b3:ac:a6:5d:a3:04:
        81:13:2a:a4:a7:4e:34:60:1b:73:b6:0a:3b:a0:3d:
        4d:d7:81:4a:f3:39:6d:67:a3
    generator: 2 (0x2)
-----BEGIN DH PARAMETERS-----
MIGHAoGBAJ7ns5EqLG7KOM2ALcNHJBTtZKGYRQcWTeniLR6EFYDZPPzWY9v/jzMx
Nu8N4516rxyiasrnnlNvqMahJpXOF+qdzcgRaSHiLL0l/iDcn0nFM1j9jXwHV2wc
WrNzRSJN79U0s6ymXaMEgRMqpKdONGAbc7YKO6A9TdeBSvM5bWejAgEC
-----END DH PARAMETERS-----
```

p

g

Codifica PEM dei parametri DH

DH in OpenSSL

File dhparams.pem

- Utilizzando il seguente comando [illegible] enerati

```
openssl dhparam -
```

I parametri e le chiavi DH sono rappresentati e codificati secondo lo standard PKCS #3

```
Diffie-Hellman-Parameter      2024 bit)
    prime:
        00:9e:e7:b3:91:2a:2c:6e:ca:38:cd:80:2d:c3:47:
        24:14:ed:64:a1:98:45:07:16:4d:e9:e2:2d:1e:84:
        15:80:d9:3c:fc:d6:63:db:ff:8f:33:31:36:ef:0d:
        e3:9d:7a:af:1c:a2:6a:ca:e7:9e:53:6f:a8:c6:a1:
        26:95:ce:17:ea:9d:cd:c8:11:69:21:e2:2c:bd:25:
        fe:20:dc:9f:49:c5:33:58:fd:8d:7c:07:57:6c:1c:
        5a:b3:73:45:22:4d:ef:d5:34:b3:ac:a6:5d:a3:04:
        81:13:2a:a4:a7:4e:34:60:1b:73:b6:0a:3b:a0:3d:
        4d:d7:81:4a:f3:39:6d:67:a3
    generator: 2 (0x2)
-----BEGIN DH PARAMETERS-----
MIGHAoGBAJ7ns5EqLG7KOM2ALcNHJBTtZKGYRQcWTeniLR6EFYDZPPzWY9v/jzMx
Nu8N4516rxyiasrnnlNvqMahJpXOF+qdzcgRaSHiLL0l/iDcn0nFM1j9jXwHV2wc
WrNzRSJN79U0s6ymXaMEgRMqpKdONGAbc7YKO6A9TdeBSvM5bWejAgEC
-----END DH PARAMETERS-----
```

p

g

Codifica PEM dei parametri DH

DH in OpenSSL

Esempio di Generazione Chiavi

- Ogni utente utilizza i parametri pubblici per generare la propria coppia di chiavi (privata e pubblica), memorizzandola in un file
  - Assumiamo che tale file sia **dhkey1.pem** (per l'Utente 1) e **dhkey2.pem** (per l'Utente 2)

Utente 1

```
openssl genpkey -paramfile dhparams.pem -out dhkey1.pem
```

Utente 2

```
openssl genpkey -paramfile dhparams.pem -out dhkey2.pem
```

- È possibile visualizzare la struttura di un file contenente una coppia di chiavi (ad es., **dhkey1.pem**) mediante il seguente comando

```
openssl pkey -in dhkey1.pem -text
```

DH in OpenSSL

Contenuto del file `dhkey1.pem`

```
DH Private-Key: (1024 bit)
    private-key:
        40:51:79:87:a0:af:d4:28:48:e0:b4:64:61:a8:09:
        8d:26:8d:a7:0c:37:66:cc:ce:37:07:98:79:6f:46:
        ec:39:e1:1c:fc:3d:af:29:48:fc:7a:3b:34:ab:c2:
        e8:f3:fb:43:17:a8:7c:c7:16:ca:07:9a:54:27:06:
        34:06:78:03:32:c2:b0:71:33:de:af:17:1a:85:10:
        43:60:38:71:76:b2:f2:94:cc:8f:b7:4c:b9:9d:8a:
        66:9a:85:4c:c6:8f:8a:a7:11:bb:79:40:d0:ff:0d:
        02:dc:97:6c:92:09:6e:5a:9e:c8:3d:80:43:f3:a5:
        f6:03:12:47:16:4a:a4:60
    public-key:
        00:85:14:d3:dc:3b:ed:83:3d:46:09:c9:a7:14:f5:
        94:d2:c1:87:b5:10:0d:39:79:7a:c5:a6:9d:be:e0:
        94:c5:6d:4a:4e:ee:f9:09:69:32:dc:1b:79:4d:a0:
        d9:a3:5b:9e:c2:e8:bf:e6:4f:2d:a9:ea:79:ed:85:
        ce:64:d2:1f:a8:15:4b:f6:73:72:6f:fc:cc:bf:45:
        ea:0a:71:4d:e8:28:9f:cd:1d:21:90:a5:b3:54:d8:
        3b:87:68:09:89:aa:3d:5a:b0:ce:8b:40:ad:2d:23:
        b2:20:a2:6f:2a:a9:ae:9d:a2:80:1b:0d:bd:f0:7d:
        9c:80:62:30:7b:69:3c:8a:53
    prime:
        00:8c:39:39:d1:60:1a:c7:cb:cd:7a:1a:f7:8f:db:
        22:cc:97:76:d1:a4:c9:c7:d8:f4:98:a3:3f:4d:24:
        17:9f:97:a9:e1:9a:ed:e6:3c:3d:36:16:6e:2a:a8:
        00:04:09:9c:9d:13:32:c2:01:8e:7a:e5:eb:49:6c:
        0f:52:47:5b:51:d2:89:e3:9b:0d:f4:cf:fb:a4:a8:
        3f:64:ec:73:74:63:4b:b9:c9:2a:ec:ee:e1:cf:3c:
        67:3d:21:c4:f1:96:b9:09:85:39:34:bb:14:ce:a2:
        38:c7:33:59:37:11:c7:fe:0d:99:e0:7a:59:4e:7d:
        dc:bd:28:2a:01:16:f7:87:13
    generator: 2 (0x2)
```

Chiave Privata (x)

Chiave Pubblica (g^x mod p)

Numero Primo (p)

Generatore (g)

DH in OpenSSL

Esempio di Generazione Chiavi

- Ogni utente ... ici per generare la propria coppia di chiavi (priva... ndola in un file
  - Assumian... em (per l'Utente 1) e **dhkey2.pem** (per l'Utente 2

Per ottenere la lista completa delle opzioni del comando **genpkey** è possibile utilizzare **man genpkey**

Utente 1

```
openssl genpkey -paramfile dhparams.pem -out dhkey1.pem
```

Utente 2

```
openssl genpkey -paramfile dhparams.pem -out dhkey2.pem
```

- È possibile visualizzare ... ntenente una coppia di chiavi (ad es., **dhkey1.pem** ... diante il seguente comando

Per ottenere la lista completa delle opzioni del comando **pkey** è possibile utilizzare **man pkey**

```
openssl pkey -in dhkey1.pem -text
```

DH in OpenSSL

Esempio Esportazione Chiavi Pubbliche

- Gli utenti devono scambiarsi le loro rispettive chiavi pubbliche
  - Ciascun utente deve estrarre la propria chiave pubblica e memorizzarla in un apposito file

Utente 1

```
openssl pkey -in dhkey1.pem -pubout -out dhpub1.pem
```

Utente 2

```
openssl pkey -in dhkey2.pem -pubout -out dhpub2.pem
```

- Per visualizzare la struttura del file **dhpub1.pem**

```
openssl pkey -pubin -in dhpub1.pem -text
```

DH in OpenSSL

Contenuto del file `dhpub1.pem`

```
-----BEGIN PUBLIC KEY-----
MIIBIDCBlQYJKoZIhvcNAQMBMIGHAoGBAIw5OdFgGsfLzXoa94/bIsyXdtGkycfY
9JijP00kF5+XqeGa7eY8PTYWbiqoAAQJnJ0TMsIBjnrl60lsD1JHW1HSieObDfTP
+6SoP2Tsc3RjS7nJKuzu4c88Zz0hxPGWuQmFOTS7FM6iOMczWTcRx/4NmeB6WU59
3L0oKgEW94cTAgECA4GFAAKBgQCFFNPcO+2DPUYJyacU9ZTSwYe1EA05eXrFpp2+
4JTFbUpO7vkJaTLcG3lNoNmjW57C6L/mTy2p6nnthc5k0h+oFUv2c3Jv/My/ReoK
cU3oKJ/NHSGQpbNU2DuHaAmJqj1asM6LQK0tI7Igom8qqa6dooAbDb3wfZyAYjB7
aTyKUw==
-----END PUBLIC KEY-----
DH Public-Key: (1024 bit)
    public-key:
        00:85:14:d3:dc:3b:ed:83:3d:46:09:c9:a7:14:f5:
        94:d2:c1:87:b5:10:0d:39:79:7a:c5:a6:9d:be:e0:
        94:c5:6d:4a:4e:ee:f9:09:69:32:dc:1b:79:4d:a0:
        d9:a3:5b:9e:c2:e8:bf:e6:4f:2d:a9:ea:79:ed:85:
        ce:64:d2:1f:a8:15:4b:f6:73:72:6f:fc:cc:bf:45:
        ea:0a:71:4d:e8:28:9f:cd:1d:21:90:a5:b3:54:d8:
        3b:87:68:09:89:aa:3d:5a:b0:ce:8b:40:ad:2d:23:
        b2:20:a2:6f:2a:a9:ae:9d:a2:80:1b:0d:bd:f0:7d:
        9c:80:62:30:7b:69:3c:8a:53
    prime:
        00:8c:39:39:d1:60:1a:c7:cb:cd:7a:1a:f7:8f:db:
        22:cc:97:76:d1:a4:c9:c7:d8:f4:98:a3:3f:4d:24:
        17:9f:97:a9:e1:9a:ed:e6:3c:3d:36:16:6e:2a:a8:
        00:04:09:9c:9d:13:32:c2:01:8e:7a:e5:eb:49:6c:
        0f:52:47:5b:51:d2:89:e3:9b:0d:f4:cf:fb:a4:a8:
        3f:64:ec:73:74:63:4b:b9:c9:2a:ec:ee:e1:cf:3c:
        67:3d:21:c4:f1:96:b9:09:85:39:34:bb:14:ce:a2:
        38:c7:33:59:37:11:c7:fe:0d:99:e0:7a:59:4e:7d:
        dc:bd:28:2a:01:16:f7:87:13
    generator: 2 (0x2)
```

Chiave Pubblica (g^x mod p)

Numero Primo (p)

Generatore (g)

DH in OpenSSL

Esempio di Calcolo del Segreto Condiviso

- Sia l'Utente 1 che l'Utente 2 eseguono i seguenti comandi per ottenere la *chiave condivisa*, composta da 1014 bit
  - Memorizzata nei file **segreto1.bin** e **segreto2.bin**, rispettivamente

Utente 1

```
openssl pkeyutl -derive -inkey dhkey1.pem -peerkey dhpub2.pem -out
segreto1.bin
```

Utente 2

```
openssl pkeyutl -derive -inkey dhkey2.pem -peerkey dhpub1.pem -out
segreto2.bin
```

- Se tutto va a buon fine, **segreto1.bin** e **segreto2.bin** sono identici
  - Ciò può essere verificato in vari modi, ad esempio tramite il comando `cmp` di Linux

```
cmp -b segreto1.bin segreto2.bin
```

DH in OpenSSL

del Segreto Condiviso

- Sia l'Ut guono i seguenti comandi per ottenere la *chiave* 14 bit
  - Mer .bin e **segreto2.bin**, rispettivamente

Per ottenere la lista completa delle opzioni del comando **pkeyutl** è possibile utilizzare **man pkeyutl**

Utente 1

```
openssl pkeyutl -derive -inkey dhkey1.pem -peerkey dhpub2.pem -out
segreto1.bin
```

Utente 2

```
openssl pkeyutl -derive -inkey dhkey2.pem -peerkey dhpub1.pem -out
segreto2.bin
```

- Se tutto va a buon fine, **segreto1.bin** e **segreto2.bin** sono identici
  - Ciò può essere verificato in vari modi, ad esempio tramite il comando `cmp` di Linux

```
cmp -b segreto1.bin segreto2.bin
```

DH in OpenSSL

Esempio di Calcolo del Segreto Condiviso

- Sia l'Utente 1 che l… la *chiave condivisa*, co…
  - Memorizzata nei…

Utente 1

```
openssl pkeyutl -de…                                    …ut
segreto1.bin
```

Utente 2

```
openssl pkeyutl -de…                                    …ut
segreto2.bin
```

man cmp

```
NAME
       cmp - compare two files byte by byte

SYNOPSIS
       cmp [OPTION]... FILE1 [FILE2 [SKIP1 [SKIP2]]]

DESCRIPTION
       Compare two files byte by byte.

       -b  --print-bytes
              Print differing bytes.

       -i SKIP  --ignore-initial=SKIP
              Skip the first SKIP bytes of input.

       -i SKIP1:SKIP2  --ignore-initial=SKIP1:SKIP2

              Skip the first SKIP1 bytes of FILE1 and the first SKIP2 bytes of
              FILE2.

       -l  --verbose
              Output byte numbers and values of all differing bytes.
```

- Se tutto va a buon fine …**reto1.bin** e **segreto2.bin** sono identici
  - Ciò può essere veri…to in vari modi, ad esempio tramite il comando `cmp` di Linux

```
cmp -b segreto1.bin segreto2.bin
```

DH in OpenSSL

Esempio di Calcolo del Segreto Condiviso

- Sia l'Utente 1 che l'Utente 2 eseguono i seguenti comandi per ottenere la *chiave condivisa*, composta da 1014 bit
  - Memorizzata nei file **segreto1.bin** e **segreto2.bin**, rispettivamente

Utente 1

```
openssl pkeyutl -derive -inkey dhkey1.pem -peerkey dhpub2.pem -out
segreto1.bin
```

Utente 2

```
openssl pkeyutl -derive -inkey dhkey2.pem -peerkey dhpub1.pem -out
segreto2.bin
```

Tale comando non restituisce nulla in output se i file comparati sono identici

- Se tutto va a buon fine, **segreto1.bin** e **segreto2.bin** sono identici
  - Ciò può essere verificato in vari modi, ad esempio tramite il comando `cmp` di Linux

```
cmp -b segreto1.bin segreto2.bin
```

DH in OpenSSL

Confronto visivo tra file `segreto1.bin` e `segreto2.bin`

```
$ xxd segreto1.bin
0000000: 4e42 91a9 a3e2 5af8 9749 6f1d 38aa 5345  NB....Z..Io.8.SE
0000010: 4a9d 6ab7 82e6 03b1 d6f8 cc53 690d 2a98  J.j........Si.*.
0000020: 2599 33e2 8eac 4b5b 5ace a565 91b7 27a8  %.3...K[Z..e..'.
0000030: 280c dae8 cd3e 0b9e b876 8d7a 9b65 d860  (....>...v.z.e.`
0000040: f7b2 d14b df63 23a9 b1bf 0016 b9d8 8c22  ...K.c#........"
0000050: 4640 7c4f 2c4f 5ad3 dc4e 498d eac5 7d6b  F@|O,OZ..NI...}k
0000060: f896 256b 12a1 f29c 1514 8964 6689 897d  ..%k.......df..}
0000070: 2b1e a34a 968f 2f6e 0c66 ff78 df1b 67b1  +..J../n.f.x..g.

$ xxd segreto2.bin
0000000: 4e42 91a9 a3e2 5af8 9749 6f1d 38aa 5345  NB....Z..Io.8.SE
0000010: 4a9d 6ab7 82e6 03b1 d6f8 cc53 690d 2a98  J.j........Si.*.
0000020: 2599 33e2 8eac 4b5b 5ace a565 91b7 27a8  %.3...K[Z..e..'.
0000030: 280c dae8 cd3e 0b9e b876 8d7a 9b65 d860  (....>...v.z.e.`
0000040: f7b2 d14b df63 23a9 b1bf 0016 b9d8 8c22  ...K.c#........"
0000050: 4640 7c4f 2c4f 5ad3 dc4e 498d eac5 7d6b  F@|O,OZ..NI...}k
0000060: f896 256b 12a1 f29c 1514 8964 6689 897d  ..%k.......df..}
0000070: 2b1e a34a 968f 2f6e 0c66 ff78 df1b 67b1  +..J../n.f.x..g.
```

DH in OpenSSL

Confronto visivo tra file `segreto1.bin` e `segreto2.bin`

```
$ xxd segreto1.bin
00000000: 4e42 91a9 a3e2 5af8 9749 6f1d 38aa 5345  NB....Z..Io.8.SE
00000010: 4a9d 6ab7 82e6 03b1 d6f8 cc53 690d 2a98  J.j........Si.*.
00000020: 2533 e2 8eac 4b5b 5ace a565 91b7 27a8  %.3...K[Z..e..'.
00000030: 2828 cd3e 0b9e b876 8d7a 9b65 d860  (....>...v.z.e.`
00000040: 1f4b 6323 a9 b1bf 0016 b9d8 8c22  ...K.c#........"
00000050: 4640 7c30 2c4f 5a ad3 dc4e 498d eac5 7d6b  F@|0,OZ..NI...}k
00000060: f898 2525 1514 8964 6689 897d  ..%k.....df..}
00
```

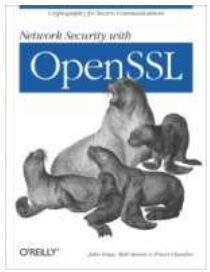
```
NAME
       xxd - make a hexdump or do the reverse.

$
SYNOPSIS
       xxd -h[elp]
       xxd [options] [infile [outfile]]
       xxd -r[evert] [options] [infile [outfile]]

DESCRIPTION
       xxd  creates  a hex dump of a given file or standard input.  It can also convert a
       hex dump back to its original binary form.  Like uuencode(1)  and  uudecode(1)  it
       allows  the transmission of binary data in a `mail-safe' ASCII representation, but
       has the advantage of decoding to standard output.  Moreover, it  can  be  used  to
       perform binary file patching.
```

Bibliografia

- Network Security with OpenSSL
  Pravir Chandra, Matt Messier and John Viega (2002), O'Reilly
  - Cap. 2.4.1
  - Appendix A. Command-Line Reference



- Presentazione Lezione Corso di Sicurezza, Prof. De Santis
  - Accordo su Chiavi

- Documentazione su OpenSSL
  - https://www.openssl.org/docs/

OpenSSL
Cryptography and SSL/TLS Toolkit