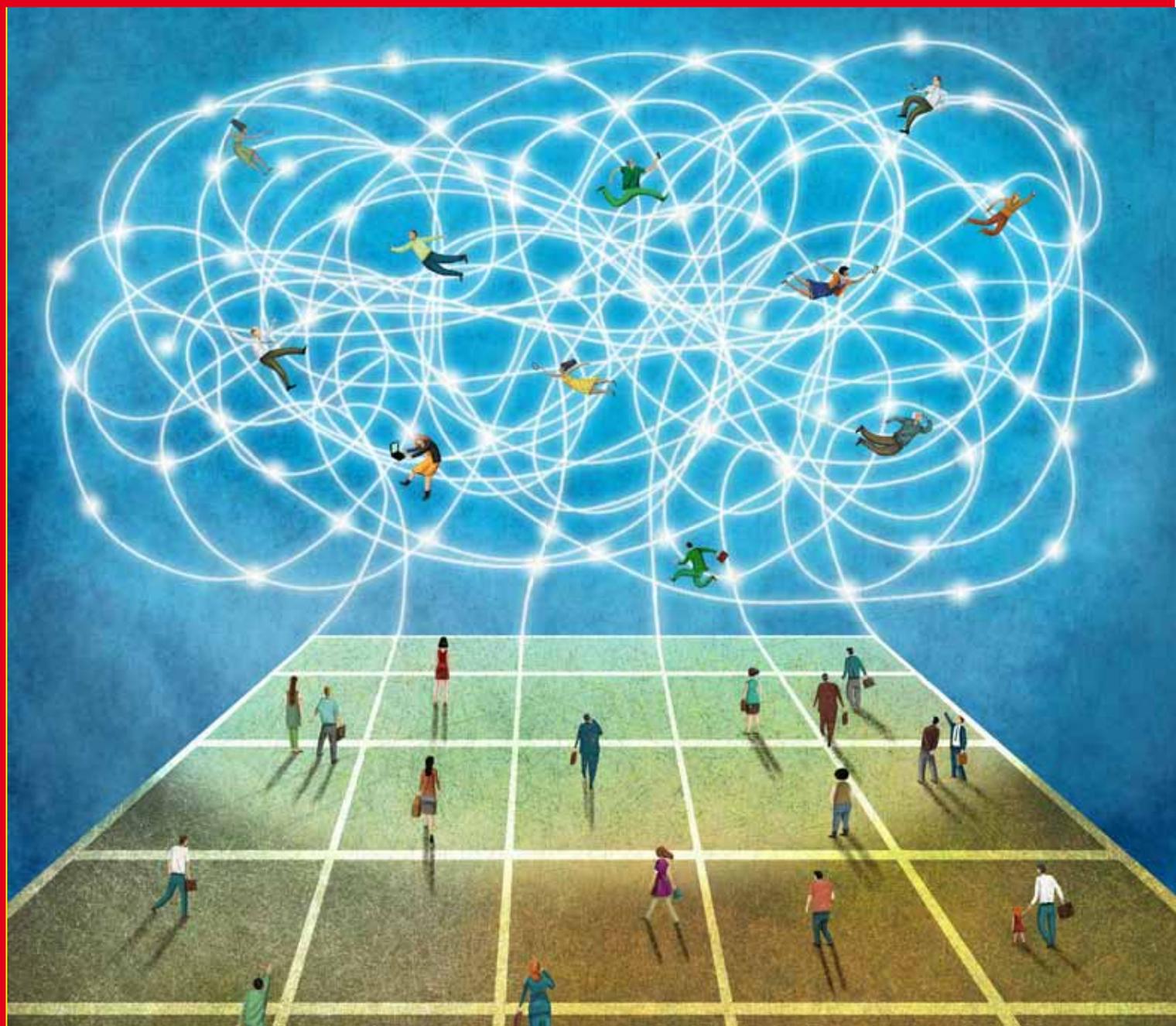




# SDN E NFV: QUALI SINERGIE?

Luigi Grossi, Eugenio Maffione, Giancarlo Marasso, Simone Ruffino



Le funzionalità di controllo e i servizi di rete sono oggi realizzati tramite dispositivi hardware proprietari. Inoltre il lancio di un nuovo servizio e l'aggiornamento di uno esistente spesso richiedono un intervento fisico sulla rete, con impatti importanti in termini di time-to-market e costi.

La NFV (*Network Functions Virtualisation*) si propone di affrontare questi aspetti, facendo leva sulle tecnologie di virtualizzazione IT per consolidare apparati e funzionalità di rete su server standard e fornendo nel contempo una maggior flessibilità operativa.

**1** La virtualizzazione delle funzioni di rete

La virtualizzazione delle funzioni di rete, nota come NFV, introduce un sostanziale cambio di paradigma nel modo in cui vengono realizzate le reti di telecomunicazioni, spezzando il legame tra hardware e software. Con NFV le funzionalità di rete (e.g. PCRF, AAA, DPI, GGSN) diventano infatti applicazioni software, denominate VNF (*Virtual Network Function*), che l'Operatore può istanziare su server COTS (*Commercial Off-The-Shelf*), ad esempio i classici blade system, sfruttando le tecnologie di virtualizzazione. Ciò viene realizzato tecnicamente tramite l'utilizzo su ogni server di un livello di astrazione (denominato *hypervisor*), che permette di creare più server virtuali VM (*Virtual Machine*) sullo stesso server fisico (vedi la Figura 1).

Le funzionalità di una VNF quindi vengono tipicamente realizzate attraverso moduli software in esecuzione su una o più VM, che possono svolgere compiti diver-

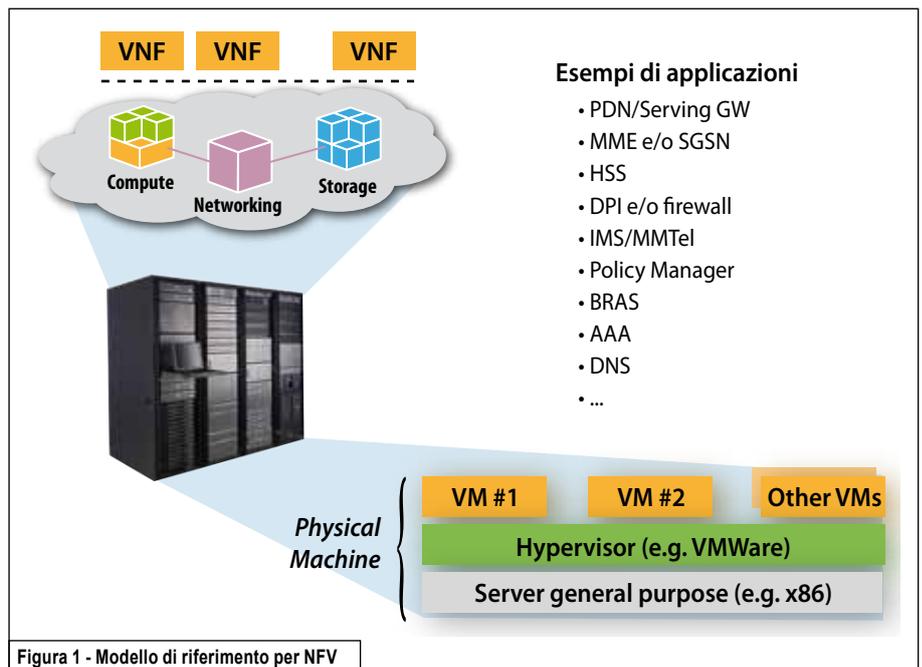


Figura 1 - Modello di riferimento per NFV

si (e.g. load-balancing, processing della segnalazione, routing del traffico dati) e possono a loro volta essere istanziate su uno o più server fisici. Il meccanismo è analogo a quanto avviene oggi per i servizi IT in esecuzione su piattaforme di cloud computing, con la differenza che le VNF possono

richiedere opportune ottimizzazioni sull'hardware per soddisfare i requisiti di ritardo, scalabilità, ridondanza geografica e gestibilità tipici delle reti di telecomunicazioni.

L'impiego delle tecniche di virtualizzazione permette di rendere il software indipendente dal har-

dware sottostante, le cui specificità vengono mascherate dal sistema di virtualizzazione. Questo consente di:

- ottimizzare l'uso delle risorse attivando sullo stesso server fisico più server virtuali che implementano diverse tipologie di servizio, in modo da sfruttare appieno la capacità disponibile e ridurre il consumo energetico;
- ampliare o ridurre in modo dinamico la capacità allocata in base al carico effettivo. Ciò può essere ottenuto incrementando o riducendo le risorse assegnate ad ogni VM o variando il numero delle VM che realizzano una specifica funzione;
- garantire alta affidabilità, in quanto a fronte di un malfunzionamento hardware le VM possono essere spostate da un server fisico all'altro;
- riconfigurare la topologia della rete in tempo quasi reale per ottimizzarne le prestazioni e/o estenderne la distribuzione locale;
- ridurre significativamente TCO (*Total Cost of Ownership*) e Time-to-Market, sfruttando la maggiore agilità e flessibilità offerta da questa tecnologia.

Occorre altresì segnalare alcuni punti di attenzione per l'Operatore:

- le VNF non possono essere un semplice porting del software oggi utilizzato su hardware proprietario, ma vanno progettate per funzionare in ambiente cloud e sfruttarne appieno le caratteristiche;
- l'Operatore si deve dotare di una piattaforma di orchestrazione per automatizzare la gestione del ciclo di vita delle VNF, al fine di evitare interventi manuali sulle VM e sull'infrastruttura sottostan-

te. È inoltre necessario che la piattaforma di orchestrazione interoperi con VNF di Vendor diversi;

- alcune componenti software sono già disponibili come open source e sono utilizzate in molti ambiti di produzione, anche in virtù del fatto che la loro apertura garantisce una maggiore protezione dai vendor lock-in rispetto alle soluzioni proprietarie. Non è da escludere che progetti simili siano avviati anche per la piattaforma di orchestrazione e che gli operatori possano avere un ruolo attivo;
- a differenza di quello che accade oggi la piattaforma hardware diventa comune a diverse funzionalità di rete e ciò potrebbe richiedere una revisione dei processi ed una diversificazione dei ruoli organizzativi.

## 2 Le iniziative di standardizzazione ed il ruolo dell'open source

Nel novembre 2012 un gruppo di Operatori, tra cui Telecom Italia, ha proposto la creazione di un gruppo di lavoro per incentivare l'utilizzo della virtualizzazione nell'industry. Da questa iniziativa è stato creato l'ETSI ISG (*Industry Specification Group*) NFV (*Network Functions Virtualization*) con durata biennale e l'obiettivo di definire use case, requirement e un'architettura di riferimento.

Tale architettura, illustrata in Figura 2, introduce i diversi domini nei quali si divide una rete NFV:

- Infrastruttura, che comprende le risorse fisiche e quelle virtuali rese disponibili dallo strato di virtualizzazione;

- Virtual Network Functions, che comprende l'insieme delle macchine virtuali che realizzano la funzione di rete o il servizio virtualizzato;
- Management and Orchestration, che comprende i tool necessari alla gestione degli altri domini.

Il gruppo ha visto nel corso del 2013 una notevole crescita del numero di partecipanti dai 52 di Gennaio 2013 ai 184 di Febbraio 2014 dimostrando che l'interesse per la tematica è alto.

Nel corso del 2013 sono stati anche avviati numerosi PoC (*Proof-of-Concept*) con l'obiettivo di dimostrare la fattibilità della virtualizzazione, coprendo molti degli use case definiti da ETSI. Alcuni sono stati dimostrati in occasione del Mobile World Congress di Barcellona ed altri lo saranno durante i principali eventi relativi ad NFV. Una sessione speciale dedicata ai PoC ETSI è prevista per il SDN World Congress di Düsseldorf in Ottobre.

Inoltre è da segnalare che, sempre nell'ambito delle aziende che partecipano al gruppo ETSI NFV, si sta formando un consorzio partecipato da Operatori e Vendor per la definizione di una Piattaforma NFV Open Source guidato dalla Linux Foundation. L'obiettivo è quello di contribuire, a partire dai progetti open source già esistenti, alla realizzazione di una piattaforma di riferimento per NFV che recepisca i requisiti definiti in ETSI per la realizzazione di funzioni NFV "Carrier Grade". Il focus iniziale sarà sul livello di virtualizzazione ed il relativo manager VIM (*Virtual Infrastructure Manager*), ma non è escluso che il consorzio, una volta formato, decida di inserire nel progetto anche una parte focalizzata sull'orchestratore.

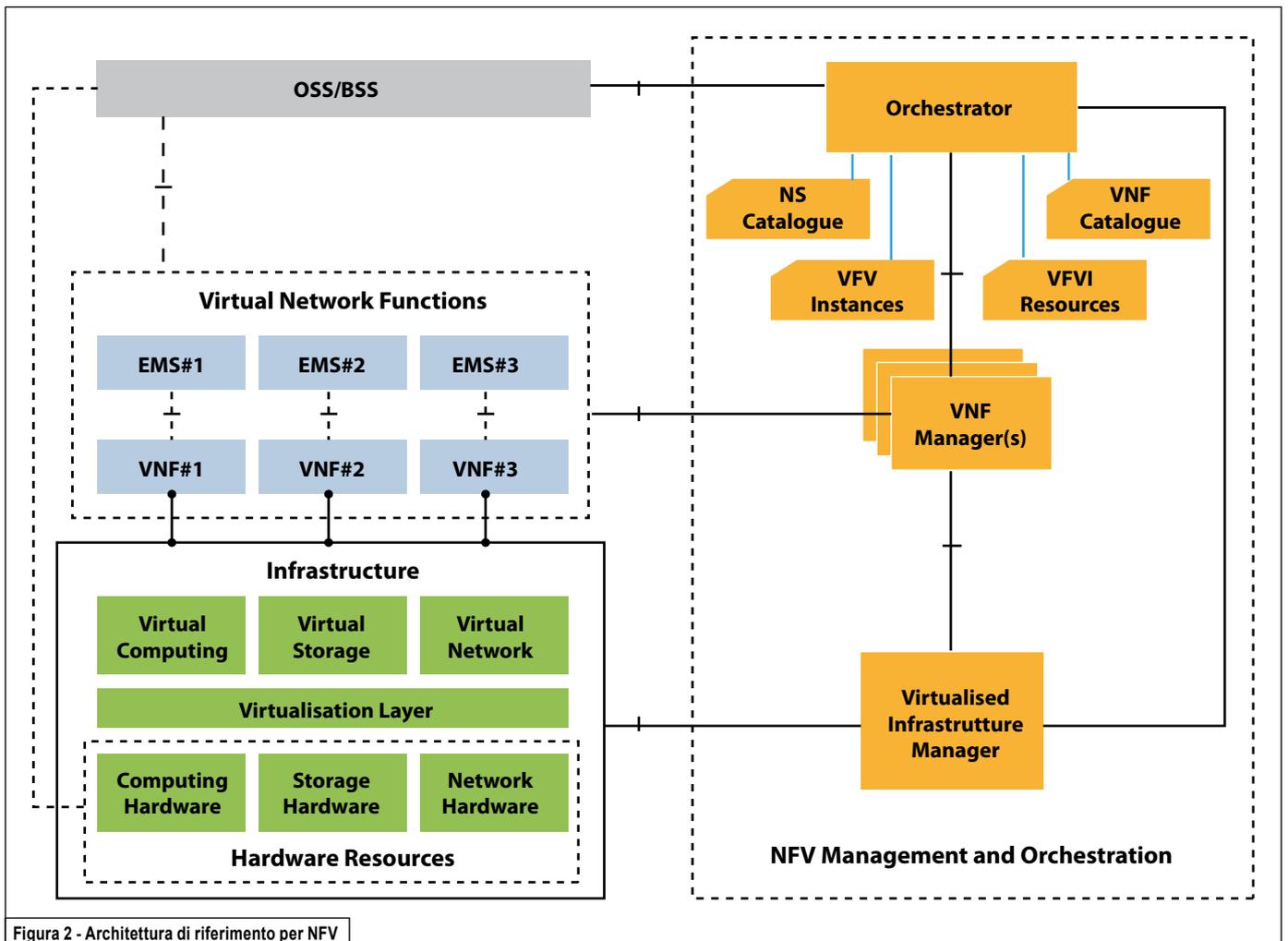


Figura 2 - Architettura di riferimento per NFV

### 3 Le tecnologie a supporto della NFV

#### 3.1 Le CPU e l'Hypervisor

L'attuale generazione di server *industry-standard* offre CPU x86 multi-core, con numero di core sempre più crescente all'evolvere della tecnologia. Questa potenza di calcolo viene sfruttata dalle architetture Cloud Computing per consolidare più carichi elaborativi sullo stesso hardware.

Ciò è reso possibile dall'utilizzo degli *hypervisor*, programmi software che consentono di presentare le risorse hardware a più

istanze di VM (*Virtual Machine*), in modo che ciascuna di queste istanze possa essere utilizzata come un computer dedicato, con propri processori, memorie, reti, sistema operativo, ecc.

Questa capability è realizzata sui processori commerciali (es. architettura X86) modificando opportunamente i *Processing Mode*, in modo che l'*hypervisor* possa prendere il controllo del sistema con poteri superiori rispetto a quelli del sistema operativo stesso.

Le moderne CPU, inoltre, forniscono livelli di privilegi di esecuzione che garantiscono che la singola VM non possa danneggiare l'esecuzione delle altre macchine virtuali che

condividono le stesse risorse fisiche, né possa interferire con i processi del sistema ospitante.

Le piattaforme hardware e gli *hypervisor* sono i principali building blocks del dominio *Infrastructure* rappresentato in Figura 2.

#### 3.2 Il Cloud Management System

Al crescere del numero di server fisici su cui risiedono gli *hypervisor* è necessario prevedere un ulteriore livello di astrazione che consenta di vedere un insieme di macchine fisiche come un unico pool di risorse.

Il compito del CMS (*Cloud Management System*) è appunto quello di consentire, attraverso una console di gestione, di creare, attivare, migrare, sospendere o spegnere le VM, di distribuire i *workload* a seconda della disponibilità delle risorse e di configurare la connettività tra le applicazioni in relazione alle esigenze dei servizi che esse implementano.

Il livello di servizio abilitato da un CMS è di tipo infrastrutturale IaaS (*Infrastructure as a Service*) e i risparmi di costi operativi derivanti dagli automatismi forniti da un CMS rappresentano uno dei grandi vantaggi promessi da NFV. Sul mercato sono presenti diverse soluzioni di CMS, sia nell'ambito di prodotti commerciali sia nell'Open Source. Tra queste ultime assume particolare rilevanza OpenStack, progetto originariamente promosso da Rackspace e NASA e con oltre 200 società che si sono unite al progetto tra cui AT&T, AMD, Cisco, Dell, EMC, Ericsson, F5, HP, IBM, Intel, NEC, NetApp, Red Hat, SUSE, VMware, Oracle e Yahoo!

OpenStack ha un'architettura modulare, rappresentata in Figura 3 ed estendibile a plugin.

Esso consente di gestire sia hypervisor (KVM, XEN, VMware, Hyper-V e Linux container), sia *bare metal* e supporta, in ottica multi-tenant, la definizione di utenti con ruoli e autorizzazioni differenti.

Il Cloud Management System costituisce, all'interno dell'Architettura ETSI di Figura 3, uno degli elementi principali del dominio di *Management and Orchestration*, ricoprendo il ruolo del *Virtualised Infrastructure Manager*.

### 3.3 L'orchestrazione delle risorse

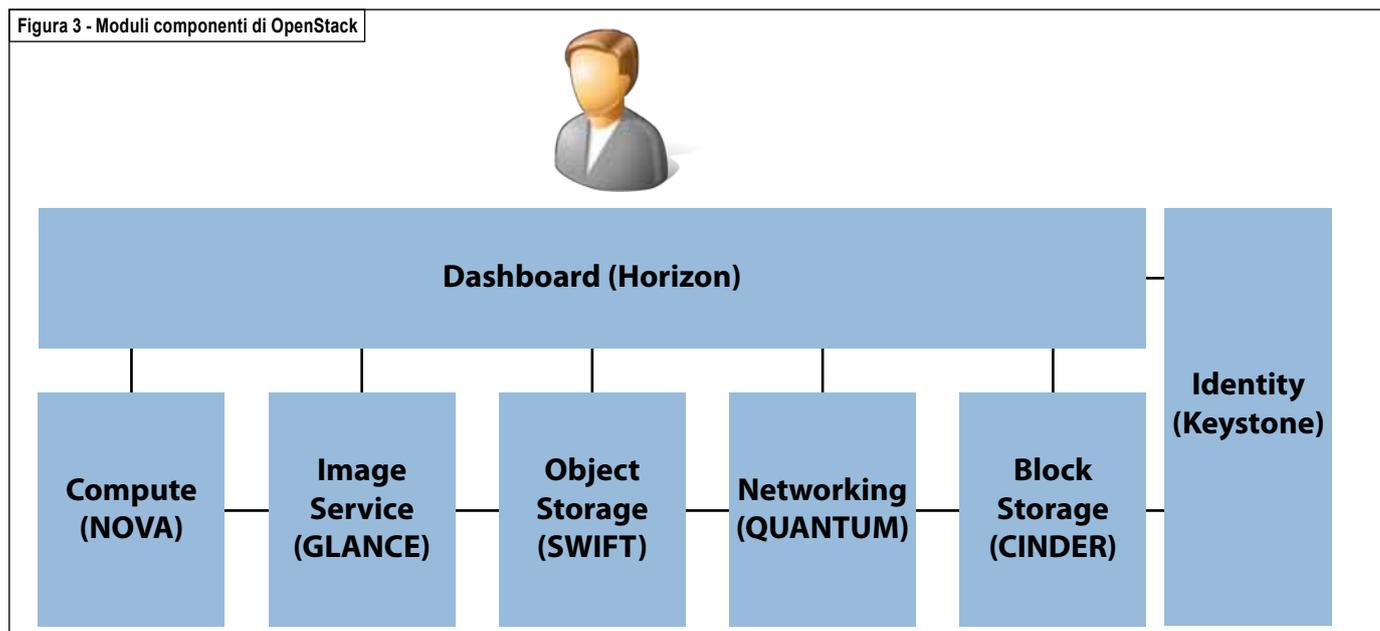
Nell'ambito NFV, la complessità e i requisiti delle funzioni da virtualizzare, la loro distribuzione geografica e la garanzia del rispetto dei livelli di servizio richiedono la presenza di un ulteriore elemento di controllo, che si occupi della gestione dell'intero ciclo di vita delle VNF, rispetto all'infrastrut-

tura sottostante esposta dai CMS/VIM, e fornisca tutti gli automatismi e gli strumenti necessari a gestire scalabilità e *fail*.

Questa attività di coordinamento viene chiamata Orchestrazione e comprende i moduli *Orchestrator* e *VNF Manager* dell'architettura ETSI di Figura 3. Essi complessivamente indirizzano, tra gli altri, i seguenti aspetti:

- *Services Instantiation*: automazione dell'intero ciclo di vita delle VNF (deployment and post deployment) e procedure automatiche per assicurare high availability e fail-over;
- *Service Component Monitoring*: monitoraggio delle macchine virtuali che eseguono le VNF e monitoraggio applicativo (*Application Performance Management*) per lo stato di salute delle VNF;
- *SLA Management*: strumenti per la definizione degli SLA associati all'esecuzione delle VNF e definizione di Alert in caso di violazione;
- *Elastic Scaling*: definizione di *policy* di *Scaling-out*, ovvero di

Figura 3 - Moduli componenti di OpenStack



aggiunta di nuove istanze di VNF a fronte di un maggior carico, o di *Scaling-in*, ovvero riduzione delle stesse a fronte di una riduzione del carico;

- *Software Upgrade*: gestione delle fasi di aggiornamento, anche a caldo, del software di una VNF;
- *Service Termination*: arresto di un servizio e di tutte le VNF quando non è più necessario.

L'automazione fornita dall'orchestrazione, che evita all'Operatore l'interazione diretta con i CMS/VIM, consente di ridurre sostanzialmente i costi operativi e il rischio di errore umano.

In prospettiva, un approccio di questo tipo, potrebbe anche essere esteso per abilitare verso la Clientela la fornitura di servizi di rete in modalità *self-service* e *pay-as-you-go*.

### 3.4 Le nuove tecnologie *Carrier Grade*

In ambito IT le architetture *multicore*, per le quali è ipotizzata un'evoluzione in strati sovrapposti che dovrebbe consentire il proseguimento della validità della legge di Moore oltre i limiti fisici di densità dei *chip* monostato, costituiscono il naturale supporto hardware per i sistemi virtualizzati del prossimo futuro. In quest'ottica i costruttori hanno iniziato ad integrare nelle nuove CPU funzionalità specifiche per gli *hypervisor*.

Parallelamente, le soluzioni per *Data Centre* stanno evolvendo verso architetture modulari in "rack" in cui i moduli, separatamente estraibili "a caldo" e interconnessi da sistemi ottici, sono visti come un unico sistema di calcolo, aumentando il beneficio

di consolidamento delle risorse e consentendo una maggiore affidabilità complessiva.

Rispetto a quanto descritto che è già parte di un'evoluzione in atto per supportare le soluzioni virtualizzate di IT, si stanno osservando anche due ulteriori trend che indirizzano le specificità dei *workload* delle VNF, che possono presentare requisiti aggiuntivi rispetto ai requisiti tipici dei *workload* applicativi (IT) e richiedere pertanto la disponibilità di risorse hardware e software con determinate caratteristiche.

In particolare, infatti:

- le VNF che gestiscono la segnalazione nel livello di *controllo della rete*, possono includere al loro interno processi che devono essere eseguiti con *garanzie di latenza deterministica*;
- le VNF che lavorano sul *traffico user plane*, devono anche poter ricevere, processare e trasmettere pacchetti di traffico a *throughput* vicini al *line rate* delle schede fisiche, senza limitazioni dovute ai *layer* software che virtualizzano l'hardware sul quale sono ospitate.

I due trend tecnologici che si osservano per affrontare le peculiarità delle VNF riguardano:

- l'**hardware**: tramite la proposizione di piattaforme *Carrier Grade* che si differenziano per:
  - a) *chipset* "Communication Oriented" per supportare la virtualizzazione dell'accelerazione hardware di *encryption* e *compression*;
  - b) *Network Card* con meccanismi di *offloading* per lo *switching* tra VM;
  - c) nuove architetture di processore che rendono minima la differenza tra le prestazioni del processing su piattaforma virtualizzata e

quelle di su sistema bare-metal COTS dedicato.

- il **software**: tramite la customizzazione di sistemi operativi, di derivazione Linux, per fornire, oltre a *scheduler* di processo ad alta risoluzione ed il supporto al processing *real time*, anche l'esposizione "diretta" (*pass-through*) delle caratteristiche hardware dedicate al *networking*. Tali sistemi operativi "Carrier Grade" offrono inoltre una serie di caratteristiche aggiuntive per concorrere al raggiungimento degli SLA dei servizi ospitati in grado di supportare l'operatività nelle fasi critiche di *patching*, *upgrade* e *fail* (*live patching*, *checkpointing & snapshot*, *hot swapping*, *fast migration*).

L'infrastruttura COTS per NFV tende, quindi a differenziarsi, almeno per il momento, rispetto all'infrastruttura normalmente utilizzata in ambito IT, dove, da una parte l'adozione di hardware *network oriented*, attualmente più costoso, non porterebbe grande giovamento, in quanto i *workload* IT sono tipicamente CPU intensive, e dall'altra l'uso di *scheduler* ad alta risoluzione si tradurrebbe in un puro spreco di risorse computazionali, in quanto il rationale sottostante per l'ambito IT è l'*oversubscription* (ovvero massimo utilizzo dello stesso hardware per gestire il maggior numero di *workload*) più che l'ottimizzazione della latenza di processo.

È da ritenere tuttavia che, in futuro, vi sia un appiattimento verso l'alto delle caratteristiche hardware e quindi, anche solo per economia di scala, si possa convergere verso una soluzione infrastrutturale comune sia per l'ambito IT che NFV, pur restando diverse le caratteristiche utilizzate.

## 4 Il posizionamento dei Vendor

Il panorama dei vendor che presentano soluzioni che afferiscono al paradigma NFV è molto vasto e comprende:

- **Vendor tradizionali del mondo Network**, attivi nell'offerta sia di versioni virtualizzate dei loro prodotti basati oggi su *appliance* fisiche, sia di soluzioni di orchestrazione dedicate a NFV;
- **Vendor di provenienza IT** che dispongono di soluzioni consolidate per l'orchestrazione di applicazioni IT e che ora estendono la loro linea di prodotti per coprire anche le peculiarità dell'orchestrazione NFV;
- **Startup**, che intravedono l'opportunità di inserirsi in un mercato ora più aperto ed estremamente promettente, sia nell'ambito delle Network Function, sia in quello delle piattaforme di orchestrazione;
- **Vendor di hardware**, con le piattaforme COTS *Carrier Grade*, orientate alla gestione di *workload* NFV, che cominciano a supportare anche requisiti ambientali (es. condizionamento, *power supply* etc.) tipici degli ambienti di Centrale, rilassando quindi quelli più stringenti relativi ai DataCenter IT;
- **Vendor di software infrastrutturale**: con i sistemi operativi *Carrier Grade*, in grado di coprire i requisiti critici di latenza di *processing* e *throughput* dei *workload* NFV.

Alcuni vendor stanno fortemente investendo sul tema e hanno attivato "programmi" volti al consolidamento delle *best practices* e alla interoperabilità all'interno dell'ecosistema stesso, mentre altri,

più legati a difendere posizioni di mercato tradizionali ormai consolidate, presentano prodotti ancora poco maturi e con *roadmap* di evoluzione in via di definizione. Tuttavia, l'enfasi sempre via crescente da parte di tutti attorno all'NFV lascia presupporre che nei prossimi 6-12 mesi la competizione nell'offerta di soluzioni NFV mature possa aumentare.

## 5 I sistemi di gestione nelle VNF

L'avvento della tecnologia NFV costituisce un forte elemento di discontinuità per l'ecosistema di un Network Operator, soprattutto per i diversi paradigmi funzionali e di gestione che propone e che non potranno non riguardare un'accurata revisione dei propri processi e dei sistemi a supporto. Mentre l'OSS tradizionale è progettato ponendo al centro l'apparato di rete e quindi considerando le problematiche di integrazione ad ogni cambio di versione e modello e i limiti di interazione che si possono manifestare, con NFV il concetto di apparato di rete sostanzialmente scompare, sostituito dalle componenti delle VNF distribuite nel Cloud dove i sistemi di gestione opereranno, oltre che sui tradizionali FCAPS, anche nell'ottica real-time per far raggiungere alla rete gli obiettivi di qualità, elasticità e di efficienza della nuova architettura distribuita.

Per questa ragione il modello informativo/dati di molti sistemi dovrà evolvere ed indurrà un cambiamento di scenario del panorama OSS costituendo sia una forte innovazione che un elemento di criticità importante, tenendo conto che vi sarà un periodo non breve di coesistenza tra due mon-

di gestionali diversi, che dovranno garantire insieme l'uniformità gestionale e contemporaneamente sostenere i nuovi dettami dell'evoluzione della rete.

Considerando i due macro processi di *Fullfilment* e *Assurance*, il primo di questi contiene un importante sotto processo, *Service Creation*, che si occupa del *Design & Deployment* del servizio e spazia dall'ingegnerizzazione del catalogo alla verifica di fattibilità tecnica su base cliente.

Con NFV i sistemi di supporto dovranno essere in grado di garantire la fase di Design, tenendo presente la distribuzione nel Cloud e quindi le relazioni tra VNF, infrastruttura e link di connessione, e dovranno essere in grado di simulare in back-office le policy imposte e l'impatto su diverse distribuzioni ed attivazioni delle funzionalità di rete virtuali.

Ultimata la fase di *Design* subentrerà il *Deployment* e l'*Activation* del servizio in Rete e ciò avverrà attraverso l'interfaccia *Os-Nfvo* (Figura 4) con cui avviene il governo dell'architettura NFV. Tale interfaccia, ancora in corso di definizione, di fatto costituisce lo strumento per l'aggiornamento automatico del catalogo da parte dell'OSS-Creation, per la presa in carico dell'ordinativo di lavoro (*Service Order*) e per l'inoltro all'OSS delle informazioni relative alle risorse di rete (NFV, logiche e fisiche) impegnate per un determinato servizio. La Figura 4 illustra lo scenario di integrazione OSS-NFV.

Il *Fullfilment* subirà quindi un forte impatto dall'introduzione NFV, non solo a livello di sistemi di supporto, ma anche di processo ed in particolare nella gestione dell'ecosistema delle VNF, che eseguite su piattaforma hardware comune,

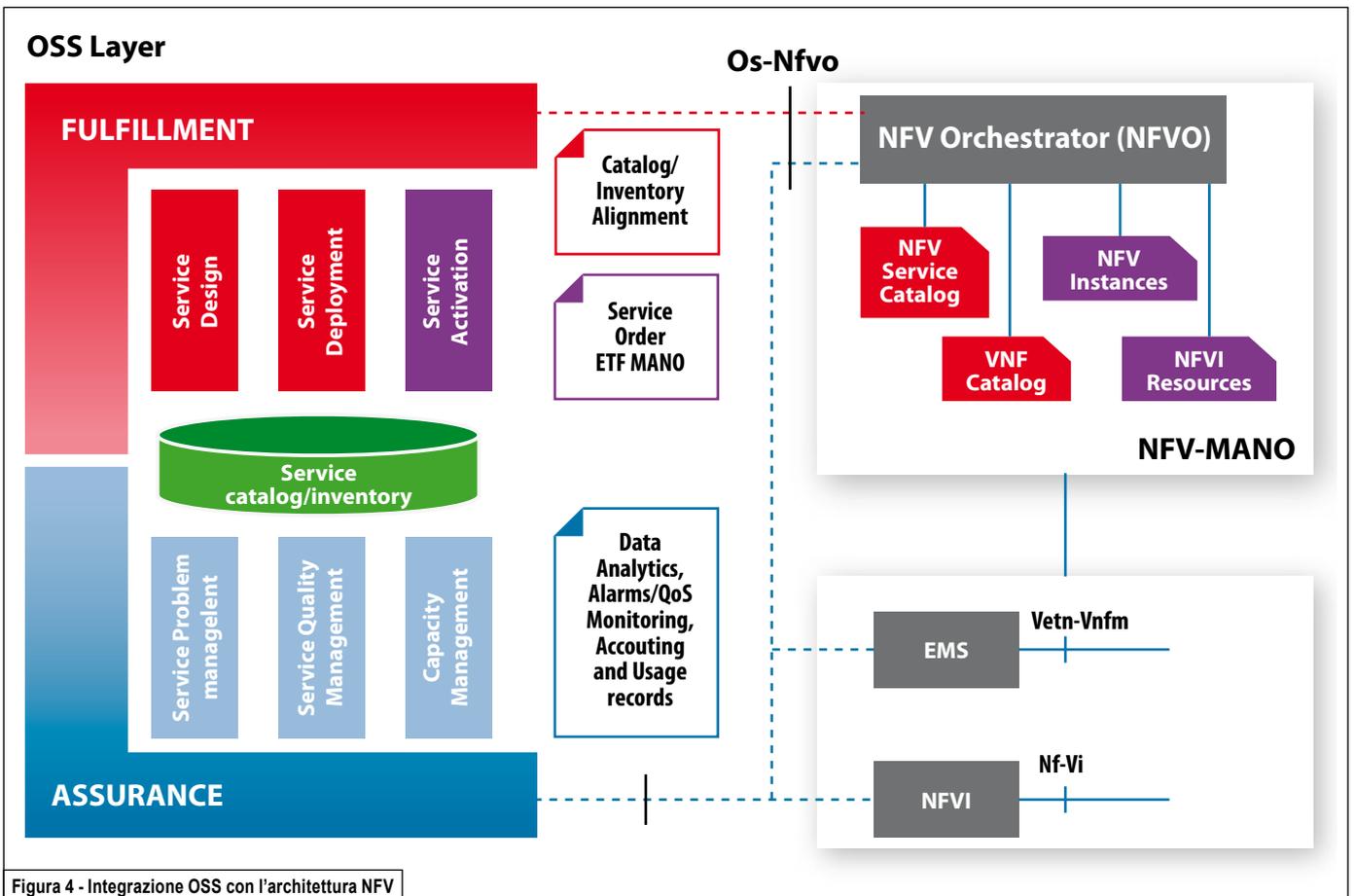


Figura 4 - Integrazione OSS con l'architettura NFV

dovranno avere una governance centralizzata.

Per l'Assurance, si evidenziano alcuni processi ritenuti rilevanti nel contesto NFV: il *Service Problem & Quality Management* ed il *Capacity Management* (quest'ultimo del tutto nuovo dovuto all'introduzione della virtualizzazione in Rete).

In questo ambito l'impatto dipenderà caso per caso dal ruolo del sistema stesso. In taluni casi sarà minimale e concentrato soltanto sull'adeguamento delle interfacce, in altri casi sarà consistente, ma molto dipenderà dalla flessibilità del modello dati dell'OSS. Ad esempio ci si attende che i sistemi di monitoraggio abbiano sufficiente flessibilità sia per accogliere che rappre-

sentare i nuovi indicatori NFV, mentre in altri casi, come per i sistemi di *troubleshooting*, l'impatto sarà molto elevato perché occorrerà gestire il nuovo concetto di *Service Graph* dell'NFV ossia il legame VNF, infrastruttura e link tra VNF.

Come illustrato in Figura 4, in ambito Assurance oltre all'interfaccia Os-Nfvo occorrerà integrare anche quella rivolta agli EMS (*Element Manager*) e quella rivolta all'infrastruttura di virtualizzazione (NFVI). L'effettiva complessità e disponibilità funzionale dell'OSS di Assurance dipenderà anche da quanto reso disponibile dal fornitore della tecnologia NFV essendo tali interfacce un ambito al momento non oggetto di standardizzazione.

In generale comunque possiamo asserire che l'NFV induce un beneficio nel processo di Assurance in quanto l'OSS non dovrà più dialogare con gli apparati di rete con tutti i limiti specifici, ma disporrà di interfacce informatiche moderne, che consentiranno più celerità nella gestione di nuovi servizi, un *inventory* sempre allineato e la disponibilità di informazioni in *realtime*.

Un notevole contributo esterno al raggiungimento dell'efficacia gestionale delle NFV crediamo possa giungere anche da quanto prodotto dal *Tele Management Forum*, che con l'*Information and Business Process Frameworks* potrà contribuire fortemente alla definizione del modello informativo e dei processi di gestione.

## Il SDN e le sue sinergie con la Network Function Virtualization

Il SDN (*Software Defined Networking*) è una proposta di organizzazione dell'architettura di rete, in cui lo strato di controllo è disaccoppiato da quello di forwarding e diviene programmabile. Le funzionalità di controllo, finora strettamente legate a dispositivi di rete implementati secondo un approccio "monolitico", migrano a tendere verso uno strato di controller SDN o "sistema operativo di rete" (Network OS) separato. I principi di astrazione introdotti dal modello e la definizione di relative interfacce di programmazione API (*Application Programming Interface*) tra gli strati dell'architettura mirano a consentire alle applicazioni di definire i servizi di rete tramite una vista logica della rete stessa, astruendo dalle specificità dei singoli dispositivi. La Figura A riporta una vista logica dell'architettura SDN, secondo l'attuale visione della Open Networking Foundation, principale ente impegnato

nella definizione di standard per il mondo SDN. L'interfaccia tra il controllo e i dispositivi del data plane è costituita, in questo caso, dal protocollo OpenFlow, tuttavia questo protocollo non è l'unica possibilità di implementazione della cosiddetta API "SouthBound".

Lo strato dei controller SDN ha, tra gli altri, il compito di mantenere una vista globale della rete, sollevando le singole applicazioni dall'onere di ricostruire la topologia, permettendo loro di concentrarsi sui loro obiettivi specifici, quali ad esempio il calcolo degli instradamenti secondo opportune policy o di percorsi in grado di soddisfare a criteri di traffic engineering.

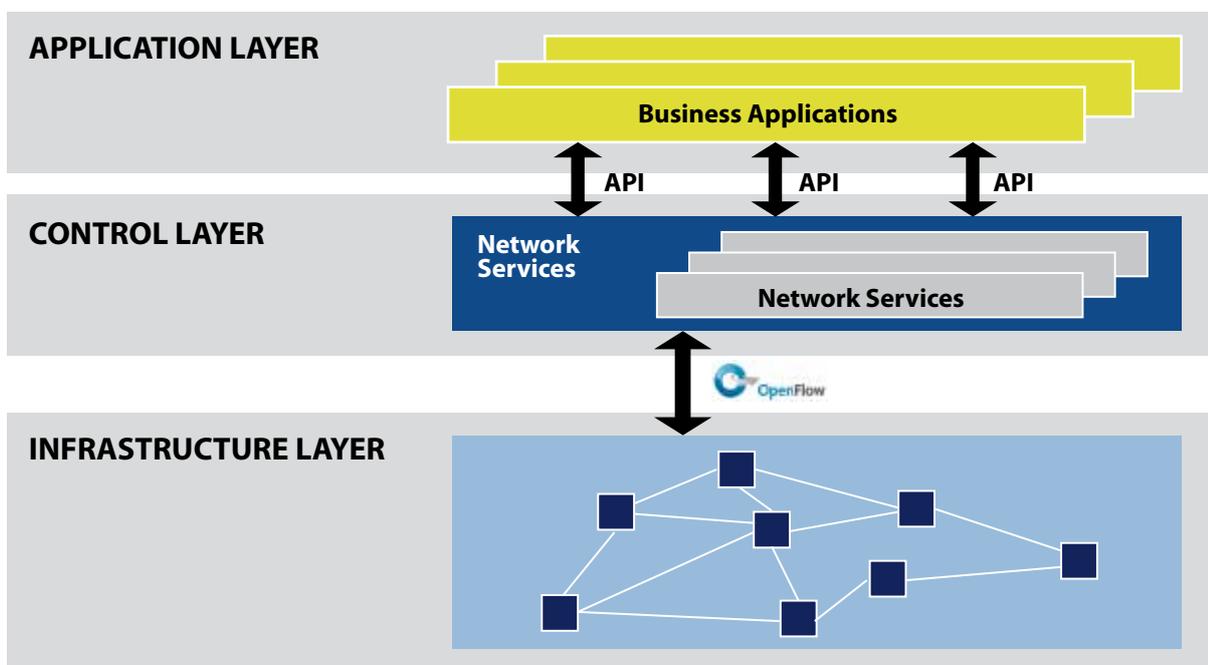
I benefici attesi da un'evoluzione verso il paradigma SDN sono da ricercare in una riduzione dei costi dei dispositivi di rete (CapEx), grazie ad una maggiore segmentazione del mercato, e dei costi operativi (OpEx), grazie ad una sempli-

ficazione dell'architettura di rete e delle procedure di gestione. Inoltre ci si aspetta che la programmabilità dell'infrastruttura di rete, attraverso interfacce aperte e standard, consenta di incrementarne la flessibilità e accelerare l'introduzione di nuovi servizi.

SDN ed NFV rappresentano due approcci complementari, e per molti versi interdipendenti, destinati a trarre beneficio da una loro integrazione nell'evoluzione della rete. Non a caso ormai quando si cita uno di questi due modelli, si assume spesso implicitamente una combinazione delle due tecnologie piuttosto che l'uso esclusivo di una delle due soluzioni.

Mentre il principale obiettivo di NFV è la realizzazione in modalità virtualizzata delle funzionalità di rete, le tecnologie SDN si candidano a giocare un ruolo fondamentale nel fornire all'Operatore la flessibilità nel controllo e nella programmazione flessibile della connettivi-

Figura A - Architettura SDN (Fonte: ONF, Open Networking Foundation)



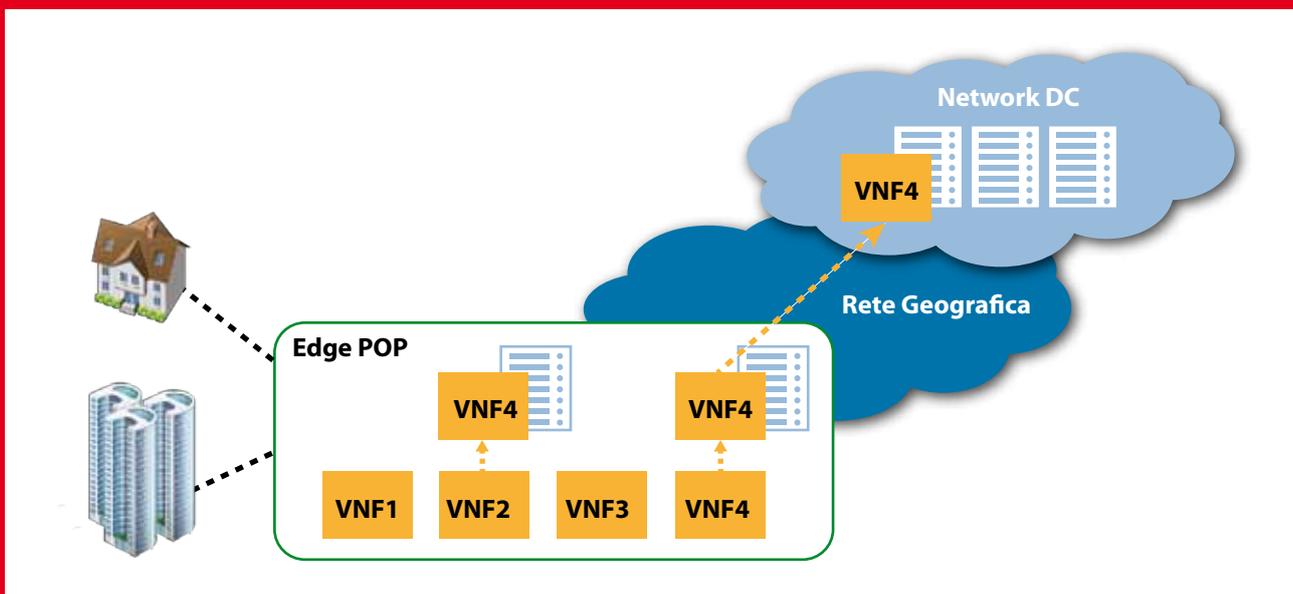


Figura B - Service function chaining

tà nella rete sottostante, per combinarle in un'architettura di servizio. Infatti, il dispiegamento delle soluzioni NFV richiede di essere supportato da meccanismi potenti ed efficienti per la gestione dinamica della connettività, sia sul piano fisico che virtuale, per collegare tra di loro le funzionalità di rete virtualizzate (VNF: Virtual Network Function).

Questo è il proprio il ruolo a cui la tecnologia SDN si presta naturalmente. Il controllo flessibile e dinamico della connettività e dell'inoltro del traffico attraverso la rete può sfruttare la programmabilità introdotta dall'architettura, che consente di supportare in modo efficiente e generalizzato i requisiti di policy routing, ovvero la possibilità di controllare il percorso dei flussi di traffico, introducendo le necessarie eccezioni alla logica di default dello "shortest path routing". Per queste ragioni, una delle applicazioni di SDN che, ad oggi, rivestono particolare importanza è rappresentata dal "service function chaining"<sup>1</sup>, ovvero dell'inserimento sul percorso di forwarding del traffico di un numero di NF (*Network Function*) destinate a svolgere funzioni di servizio (es. firewall, DPI, ecc.).

In questo senso SDN rappresenta un ideale complemento ad NFV per definire la connettività tra le funzioni di rete al fine di realizzare il collegamento tra le Network Function richieste dall'architettura del servizio. Le funzionalità (Figura B) possono essere realizzate da apparati fisici dedicati (NFx) o implementate in forma virtualizzata (VNFx), e possono essere ospitate su server presenti nel POP dell'edge di servizio o in data centre di rete. La possibilità di programmare in modo flessibile il percorso dei flussi di traffico attraverso le NF, ovvero di instaurare quello che nell'architettura NFV viene definito come "network function forwarding graph" (NF-FG) è quindi un elemento chiave della soluzione e la tecnologia SDN il modo per realizzarlo, con la possibilità di riconfigurare in modo dinamico e flessibile la connettività se ad esempio nel grafo del servizio deve essere inserita una nuova funzione o se una VNF migra in una diversa locazione di rete.

Su questi principi architetturali di integrazione tra SDN ed NFV si registra ormai una convergenza molto ampia dell'industria. La flessibilità del modello

SDN sembra offrire l'approccio adatto alle esigenze di controllo della connettività di rete. Un aspetto su cui invece assistiamo ancora alla proposta di soluzioni tecniche in parte diversificate è relativo all'implementazione del "forwarding graph" nel data plane. Le principali alternative al riguardo infatti consistono nell'uso:

- a) di OpenFlow per programmare le tabelle di forwarding dei dispositivi di rete;
- b) di meccanismi di tunneling utilizzati tipicamente per creare overlay di servizio sull'infrastruttura di rete;
- c) di nuovi meccanismi di incapsulamento dei pacchetti, quali la tecnica dei NSH (*Network Service Header*), proposta di recente in ambito IETF (*Internet Engineering Task Force*).

Ognuna delle alternative ha naturalmente punti di forza e limiti, siano essi la scalabilità o la mancanza di una standardizzazione, ed è auspicabile che con il maturare delle proposte si converga verso soluzioni interoperabili ■

vinicio.vercellone@telecomitalia.it

<sup>1</sup> La nozione iniziale di "Service Function Chaining" è stata generalizzata dal concetto di "Service Function Composition", ladove quest'ultimo tiene conto della possibilità di combinare le funzioni anche in topologie ("Service Function Graph") più complesse di una semplice concatenazione.

## JoINet

JoINet è una sperimentazione geografica di rete che Telecom Italia ha lanciato per verificare i vantaggi e le problematiche poste dalle future reti basate sui paradigmi SDN/NFV. Allo stesso tempo JoINet costituisce un testbed aperto alle maggiori università italiane per stimolare la nascita di nuove idee, di nuove soluzioni e di nuove applicazioni, secondo il nuovo modello di collaborazione tra Telecom Italia ed il mondo accademico inaugurato con il progetto "JoL", Joint Open Lab, partito a metà del 2012 e che ha portato, ad oggi, alla realizzazione di 8 nuovi laboratori di innovazione collocati all'interno di un gruppo selezionato di atenei italiani (Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Università di Catania e Università di Trento).

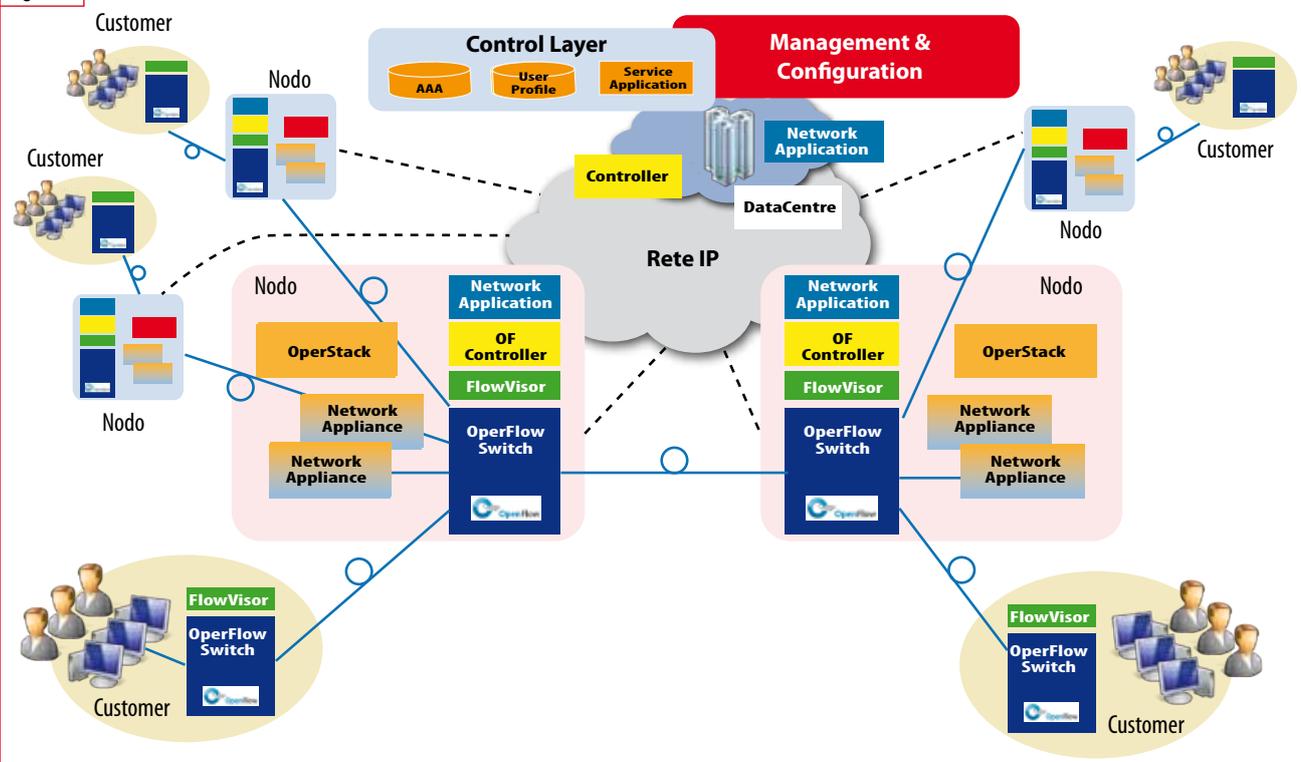
La rete (FiguraA) è costituita da 12 switch che integrano il protocollo Openflow: 6 di questi costituiscono il backbone e sono collegati tra loro a maglia completa; 6 switch estendono la rete SDN all'interno delle sedi JoL. Accanto agli switch sono impiegati 6 server, su cui sono supportate, su macchine virtuali secondo l'approccio NFV, le funzionalità che prescindono dal semplice forwarding dei pacchetti: Piano di Controllo, DNS, AAA, Virtual router, ...

L'insieme costituito dalla piattaforma di switching programmabile e dalla piattaforma di calcolo è la realizzazione che oggi più si avvicina a quelli che possiamo immaginare come nodi di rete del futuro, che avranno nella flessibilità e nella completa programmabilità gli elementi determinanti per una

sensibile riduzione dei costi operativi e per una più veloce introduzione dei servizi.

La rete fisica è suddivisa in partizioni logiche, in modo da rendere tra loro indipendenti le attività sperimentali condotte dagli atenei: queste sono realizzate utilizzando l'applicativo Flowvisor che si interpone tra gli switch Openflow ed il controller; sulla base di opportune regole (ad esempio su base identificativo di VLAN) Flowvisor smista i pacchetti di controllo provenienti dagli switch verso il Controller di competenza, eventualmente dedicato alla specifica sperimentazione. Ogni Controller può modificare in questo modo l'instradamento dei soli pacchetti relativi ad una data partizione: questo permette sia di utilizzare contemporaneamente più Controller diversi, sia di sperimentare

Figura A



tare in ogni rete logica regole di instradamento diversificate.

La parte server è gestita tramite il Framework Openstack che attraverso i suoi diversi componenti fornisce una Dashboard, la gestione delle Virtual Machine, delle Immagini Software, dello switching dei pacchetti all'interno dei Server. Openstack include il concetto di Tenant, che nell'ambiente Data Center è l'amministratore di una partizione delle risorse in questo contenute: nell'ambito JoLNet ad ogni sperimentazione è associato un Tenant e ogni Tenant può avere al suo interno più utenti con ruoli differenti.

L'impiego del paradigma Openstack in un contesto di "Data Center distribuito" e la sua integrazione con una rete geografica (con problematiche abbastanza diverse da quelle della rete locale quasi "piatta" in cui è nato) è uno degli aspetti di maggior interesse nelle prime fasi della sperimentazione. Altri aspetti includono il confronto tra le problemati-

che che possono derivare dall'impiego di una soluzione di controllo centralizzata e quelle delle reti attuali in cui il controllo è completamente distribuito; la rivoluzione nel assurance e nel troubleshooting, in cui da una parte si avranno a disposizione nuovi strumenti, ma dall'altra ci si devono attendere modalità operative completamente nuove; o ancora l'apertura al controllo da parte delle applicazioni della rete attraverso le interfacce Northbound dei Controller e di Openstack.

In figura B viene riportato uno schema esemplificativo delle possibili interfacce "aperte" su cui possono essere innestate le attività sperimentali proposte dagli atenei, raccolte in un libro bianco che descrive l'intero progetto e l'architettura di rete proposta.

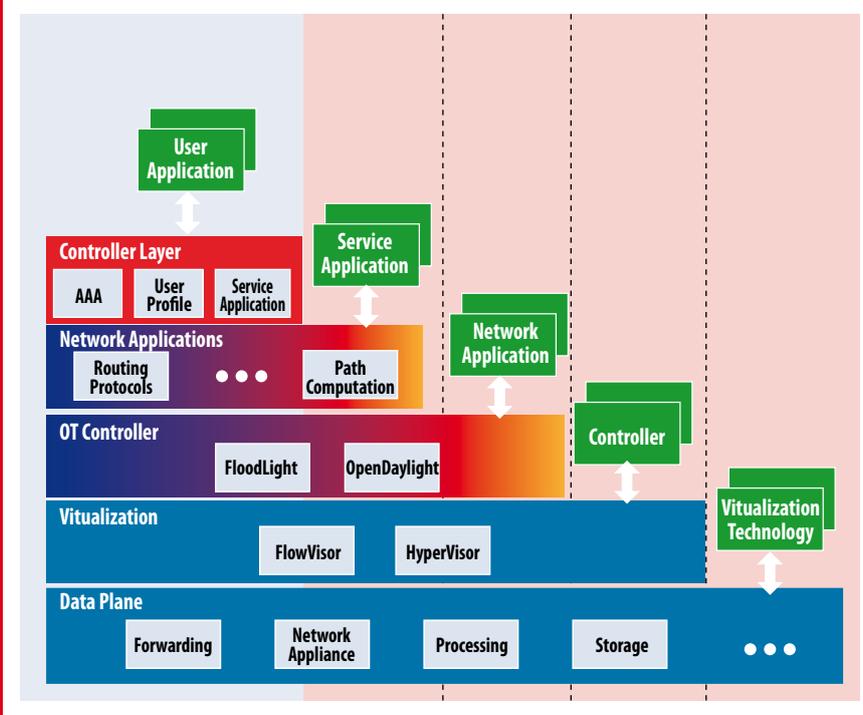
Nel frattempo lo sviluppo della rete procede. In questa iniziativa sono state coinvolte le principali aziende manifatturiere del settore, scegliendo la proposta tecnologica presentata da Cisco,

che si adatta meglio di altre ai requisiti previsti per la prima fase della sperimentazione: apertura delle interfacce, ma anche costi ed ingombri contenuti. La rete ad oggi sfrutta l'infrastruttura di collegamento dei laboratori JoL con la sede Telecom Italia Lab di Torino sulla quale sono realizzati tunnel che permettono di simulare collegamenti diretti a maglia tra tutti nodi Openflow. Da maggio 2014 sono attivi i nodi nei laboratori JoL del Politecnico di Torino e del Politecnico di Milano, oltre al nodo presente in Telecom Italia Lab. L'attivazione degli ulteriori 3 nodi è prevista entro l'autunno prossimo.

A fronte di un successo dell'iniziativa si potrà rilanciare con una seconda fase in cui gli aspetti chiave potrebbero ad esempio essere:

- inserire queste tipologie di apparati all'interno delle centrali, risolvendo quindi i problemi impiantistici e quelli di gestione e controllo in banda ;
- trasformare JoLNet, o una parte di essa, in una rete di produzione;
- capire le problematiche del modello ibrido, in cui routing tradizionale e routing innovativo si integrano sulla stessa infrastruttura ■

Figura B



enrico.polese@telecomitalia.it  
mario.ullio@telecomitalia.it

## 6 La Roadmap verso NFV

Ogni Network Function, nello stato attuale, può essere collocata all'interno di una specifica fase rispetto al percorso di migrazione verso NFV, a seconda del modo in cui essa è realizzata e dispiegata nella rete dell'operatore.

La Figura 5 sintetizza i diversi step nel percorso verso la sua trasformazione da appliance fisica ("Bare Metal") a workload virtuale:

- Step 0: Funzione di rete tradizionale, implementata su HW e SW proprietario. Attualmente, la maggior parte delle funzioni di rete si trovano in questo step: si pensi ad esempio a tutti gli apparati di rete core fisso/mobile, all'IMS, PCRF, le sonde DPI etc;
- Step 1: funzione di rete implementata su server COTS. In questo step si trovano alcune piattaforme di funzioni realizzate mediante un SW dispiegato su HW "standard" COTS: i server DNS, diversi Application Server che ruotano intorno alla fonia fissa/mobile, il Virtual-

PBX. Le funzioni di rete di questo tipo possono essere più facilmente virtualizzate;

- Step 2: funzioni di rete virtualizzate singolarmente su server COTS. Sono quelle funzioni già migrate su una piattaforma di virtualizzazione e realizzate mediante un insieme di Virtual Machine istanziate su server COTS dedicati e tipicamente forniti dallo stesso Vendor;
- Step 3: in questo stato, le funzioni di rete sono virtualizzate e sono orchestrate insieme ad altre funzioni virtualizzate, per ottimizzare le risorse fisiche a loro disposizione, cioè i server COTS dispiegati in rete non sono dedicati alla singola funzione. In questa fase, l'orchestrazione si limita all'on-boarding automatico delle VNF e a gestire la connettività fra loro e con il resto della rete. In questo ambito l'apporto fornito dalla tecnologia Software Defined Networking risulta determinante per garantire l'adeguata dinamicità dei grafi di servizio (cfr. Box *Il SDN e le sue sinergie*

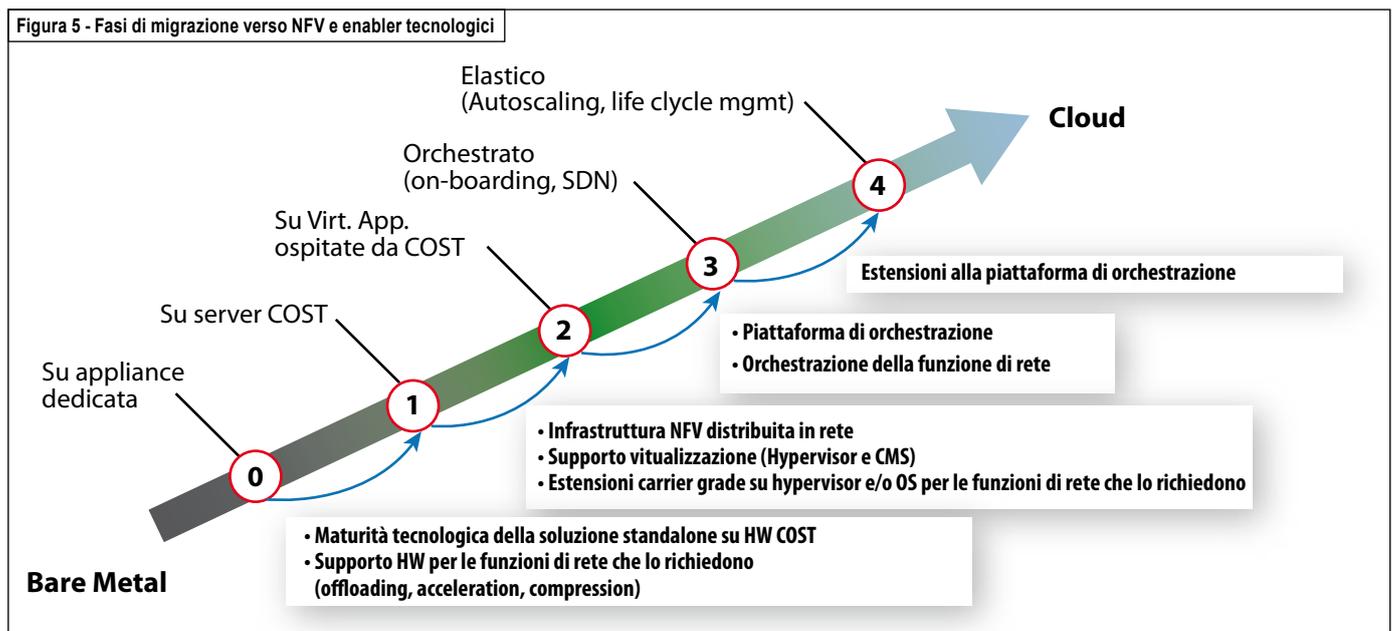
con la Network Function Virtualization);

- Step 4: la funzione di rete è non solo virtualizzata, ma pienamente gestita dall'Orchestratore, che si occupa anche del ciclo di vita e fornisce tutti gli automatismi e gli strumenti necessari a gestire scalabilità e fail delle VNF.

Telecom Italia ha avviato diverse attività interne volte a verificare lo stato di maturità delle soluzioni disponibili sul mercato e la possibilità di virtualizzazione di alcune piattaforme di rete.

Inoltre, nell'ambito di "Joint Open Lab", l'iniziativa di collaborazione con il mondo accademico partita a metà del 2012, sta realizzando un testbed geografico SDN/NFV. Tale testbed (cfr. Box *JolNet*) collegherà i nuovi laboratori di innovazione congiunti, collocati all'interno degli atenei, tramite una infrastruttura di rete programmabile SDN e fornirà nel contempo anche risorse hardware e software distribuite in rete, utilizzabili per la sperimentazione di servizi evoluti in ambito NFV.

Figura 5 - Fasi di migrazione verso NFV e enabler tecnologici



## Conclusioni

Grazie all'evoluzione delle capacità dei sistemi COTS, sempre più potenti e general purpose, si è potuto assistere ad una graduale e pervasiva trasformazione delle funzioni basate su elettronica ad-hoc verso realizzazioni puramente basate su software: ad esempio i codec software ora presenti sui nostri cellulari per il trattamento della voce e del video realizzano funzionalità un tempo possibili solo con hardware dedicato.

Lo stesso trend tecnologico è anche uno dei principali enabler della virtualizzazione in generale e, in particolare, della virtualizzazione delle funzioni di rete, dove la possibilità di rendere il software indipendente dal hardware diventa elemento dirompente per tutti gli attori del settore: i costruttori di apparati di telecomunicazione che sono ora chiamati ad allineare i loro prodotti agli scenari NFV, i costruttori di sistemi COTS attirati dall'opportunità di entrare nel mercato delle telecomunicazioni, se saranno in grado di soddisfare i nuovi requisiti "carrier grade", i costruttori di software, in piena sinergia con le iniziative open-source, che potranno accrescere il proprio ruolo in ambito TLC con nuovi elementi mutuati da soluzioni tipicamente IT quali i sistemi di orchestrazione ed i controllori di infrastruttura cloud.

Le caratteristiche di dinamicità e scalabilità delle soluzioni virtualizzate NFV, possono poi abbassare significativamente la soglia di ingresso al mercato di fornitori di servizi innovativi cui è data l'opportunità di gestire le offerte con cicli di vita molto rapidi, investimenti contenuti e grande scalabilità.

I benefici legati alla virtualizzazione delle funzioni di rete sono molteplici e riguardano la flessibilità nella creazione di nuovi servizi e la riduzione dei costi di esercizio. Questi sono resi possibili grazie alla sostanziale semplificazione dell'architettura *hardware*, all'automazione dei processi, al consolidamento dei *workload* su risorse condivise, all'ottimizzazione del loro utilizzo, anche in termini di risparmio energetico e, non ultima, all'opportunità di incrementare le risorse disponibili *on demand*.

Un'altra importante tecnologia, complementare a NFV, è SDN. Questa tecnologia, che si rivolge ad un ambito differente, ma con un analogo intento di semplificazione, è indirizzata ai dispositivi di rete e promuove il disaccoppiamento della funzione di controllo, delegata ad uno strato superiore, da quella del puro forwarding dei flussi di traffico, che diventa quindi "programmabile".

Sull'efficace integrazione di queste due nuove tecnologie, l'una orientata alle funzioni di rete e al renderle disponibili "on demand" e l'altra orientata al controllo del traffico per includere e far raggiungere queste funzioni attraverso i percorsi "fisici" di rete, si giocherà buona parte del loro successo e della effettiva creazione di un ecosistema NFV.

Anche se gli aspetti tecnici da risolvere sono ancora molti e la cornice temporale di una sua adozione su larga scala non è ancora definita, gli operatori di rete sono comunque propensi a considerare questa evoluzione tecnologica inevitabile, se non anche necessaria, e intendono studiarne tutti gli aspetti al fine di poter operare di volta in volta scelte che consentano di trarne i benefici funzionali

ed economici limitando i rischi di questo cambio di paradigma su una rete oggi solidamente basata su competenze e tecnologie in evoluzione ma in un contesto di regole e processi ampiamente collaudati ■

### Acronimi

<b>AAA</b>	Authentication Authorization and Accounting
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>CMS</b>	Cloud Management System
<b>COTS</b>	Commercial Off-The-Shelf
<b>CPE</b>	Customer Premises Equipment
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>DNS</b>	Domain Name System
<b>DPI</b>	Deep Packet Inspection
<b>EPC</b>	Evolved Packet Core
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>FAB</b>	Fulfillment, Assurance and Billing
<b>FCAPS</b>	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node
<b>GTW-M</b>	Gateway Metropolitan
<b>HTTP</b>	HyperText Transport Protocol
<b>HW</b>	Hardware
<b>IaaS</b>	Infrastructure as a Service
<b>IMS</b>	IP Multimedia Subsystem
<b>ISG</b>	Industry Specification Groups
<b>IT</b>	Information Technology
<b>MIPS</b>	Mega Instruction Per Second
<b>NFV</b>	Network Functions Virtualization
<b>OS</b>	Operating System
<b>OSS</b>	Operations Support System
<b>PBX</b>	Private Branch eXchange
<b>PCRF</b>	Policy and Charging Rules

## Evidenze che emergono dai tavoli internazionali

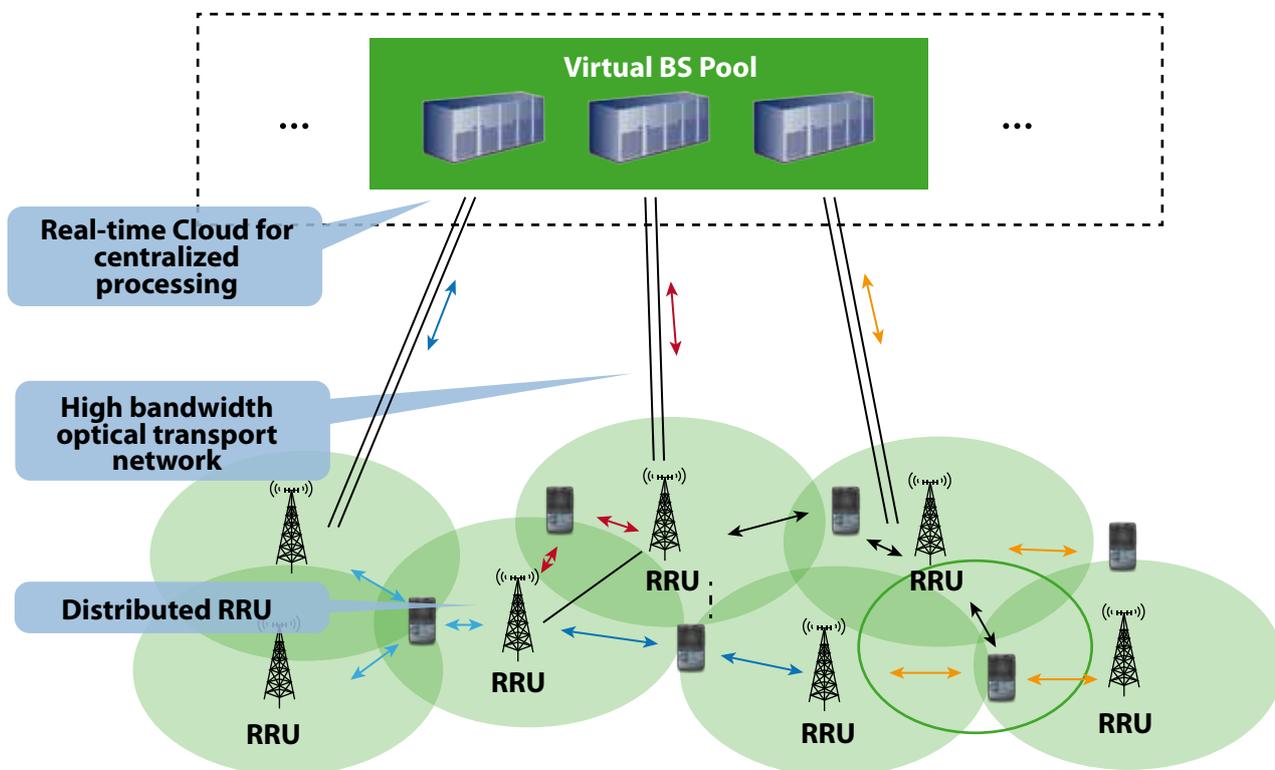
La crescita esponenziale delle capacità di processing e storage dei sistemi IT (con la relativa decrescita dei costi) e l'avvento dell'Ultra-broadband fisso e mobile stanno creando le condizioni per una importante ridefinizione delle piattaforme di rete e servizi. Il fenomeno è al centro di una forte attenzione industriale evidente sia nei forum ed enti che trattano di Software Defined Networks /e/ Network Function Virtualization, sia nei movimenti di mercato. Questo profondo fenomeno evolutivo dev'essere analizzato sia dal punto di vista tecnologico, sia per le possibili implicazioni di business e di regolatorio causati anche dall'abbassamento della soglia di ingresso per nuovi Operatori e Fornitori di Servizi. Inoltre, l'attività di prototipazio-

ne e dimostrazione sperimentale in vari contesti internazionali danno evidenze della concreta possibilità di virtualizzare le funzionalità di rete (ad esempio le middle-box, se non addirittura i livelli 2 e 3 di rete) e di migrarne l'esecuzione in Network Data Center (secondo il modello Cloud Computing).

In ambito standardizzazione, si evidenzia da un lato l'attenzione ricevuta dall'Open Networking Foundation, il principale ente che promulga standard in ambito SDN, con la partecipazione di oltre di 150 aziende del mondo del networking, e la realizzazione di prodotti a standard OpenFlow. Per quanto riguarda ETSI NFV, la partecipazione è cresciuta da 53 a 210 aziende (da inizio 2013 a metà 2014) di cui solo il

40% membri ETSI, con forte partecipazione da aziende asiatiche e nordamericane e di tutti i principali operatori mondiali. Con la recente pubblicazione delle specifiche NFV (in formato draft) si è inoltre avviato un processo di approfondimento da parte di altri enti di standardizzazione: si segnala in 3GPP l'avvio di uno Study Item in SA5 (Management) sul tema della gestione integrata di una rete mobile tradizionale e con componenti virtualizzate; anche per BBF, la virtualizzazione è ritenuto tema strategico suscettibile di innovare in modo disruptive le architetture e le caratteristiche dei nodi di rete fissa. Infine anche per il TMForum il tema è di forte attenzione, con un workshop, una track e diversi Catalyst.

Modello C-RAN (Fonte- China Mobile)



Anche l'OpenSource gioca un forte ruolo con la creazione di ecosistemi che aggregano player consolidati e start-up all'interno dei principali progetti. In particolare segnaliamo per SDN l'Open Daylight Project, avviato nel 2013 da importanti Vendor in ambito networking (ad esempio CISCO) e che in un anno ha portato al primo rilascio di una Piattaforma di Controller SDN denominata 'Hydrogen' (in grado di dialogare sia con OpenFlow sia con altri protocolli standard, ad es. NetConf. Per NFV è stata recentemente avviata una analoga iniziativa che vede la partecipazione di importanti vendor ed operatori per la creazione di una NFV Infrastructure Open Source, denominata Open Platform for NFV (OPN), che valorizzi ed adatti piattaforme Open Source esistenti (e.g. OpenStack) al mondo Telco.

Relativamente agli Operatori, segnaliamo come già oggi, ad esempio, China Mobile si sta orientando verso un modello C-RAN centralizzato, dove la Base Station mantiene solo l'antenna e la RRU (Remote Radio Unit) mentre tutte le altre funzionalità di rete radio (da livello 2 al livello 7) sono opportunamente "aggregate" ed eseguite nei Data Center, raggiunti con interconnessioni ottica ad alta capacità. Questo modello consentirebbe forti risparmi energetici e di risorse fisiche (con conseguenti riduzioni CAPEX e OPEX), migliori prestazioni, semplicità di deployment ed esercizio.

Questi trend danno evidenza anche di un significativo impatto sui processi di Operations, che andranno verso la gestione e l'orchestrazione di risorse logiche di processing, storage e comunicazione (ad es. attraverso astrazioni programmabili delle risorse fisiche, fino

alle macchine o ai terminali). In questa direzione, l'introduzione di metodi e sistemi che automatizzano i processi è una tendenza che punta ad ottenere forti riduzioni di OPEX (si segnalano le attività di Orange in questa direzione). AT&T ha annunciato la vision 2020 orientata verso la virtualizzazione, con NFV e SDN tecnologie di riferimento, e la integrazione tra il mondo Network ed il mondo IT, con un cloud IT (pochi grandi data center e tante applicazioni) e un NFV (tanti data center nei POP e poche applicazioni); ATT è uno degli operatori driver della iniziativa Open Platform for NFV: l'obiettivo è accorciare il time to market e accelerare il deployment di nuove funzioni per il cliente.

Un operatore molto attivo negli studi e trial NFV è Telefonica, che ha annunciato il dispiegamento in campo in Brasile di funzioni di virtual CPE e lo sviluppo di un laboratorio centrale NFV in cui intende provare le diverse tecnologie afferenti al contesto NFV con una serie di partner tecnologici.

Altri Operatori, come ad esempio Deutsche Telekom, stanno sperimentando il modello "Software-defined Operator" con field-trial che coinvolgono Utenti reali (ad esempio la rete TerraStream in Croazia). Anche gli OTT si sono già mossi nella direzione di sfruttare il modello "Software-defined" (ad esempio la WAN G-Scale di Google che interconnette tutti i Data Center) anche nell'ottica di favorire lo sviluppo e diffusione di nuovi scenari avanzati di servizi basati su droni e robot (ad es. acquisizione di Titan da parte di Google, e gli investimenti della divisione Google X sulla robotica).

Le conseguenze di medio-lungo termine potrebbero essere anche "disrup-

tive". Si possono infatti immaginare scenari (come annunciati da China Mobile per la Cina) dove Infrastructure Provider affittino risorse fisiche (ad es. antenne, fibra, processing e storage) a "Software-defined Operator" le cui piattaforme di rete e servizi sarebbero interamente sviluppate in software e quindi, in linea di principio, facilmente de-perimetrizzabili verso altri paesi (con bassi costi). Questo scenario è in corso di analisi anche nell'ambito delle attività su 5G di H2020, in particolare in ottica Digital Single Market. L'analisi di questi scenari, in ottica di comprensione delle opportunità e dei rischi per l'Operatore, è facilitata dalla Chairmanship dell'Iniziativa IEEE su SDN<sup>2</sup>, iniziativa che si sta dimostrando essere un punto di osservazione internazionale di particolare rilievo ■

**antonio.manzalini@telecomitalia.it**  
**andrea.pinnola@telecomitalia.it**

<sup>2</sup> <http://sdn.ieee.org/>

	Function
PoC	Proof of Concept
R&D	Research and Development
SDN	Software Defined Networking
SLA	Service Level Agreement
SW	Software
TCO	Total Cost of Ownership
VIM	Virtual Infrastructure Manager
VM	Virtual Machine
VNF	Virtual Network Functions



## Bibliografia

- [1] Antonio Manzalini, Vinicio Vercellone, Mario Ullio "Software defined networking: sfide e opportunità per le reti del futuro", - Notiziario Tecnico Telecom Italia Numero 1 - 2013
- [2] Giovanni Lofrumento "Dalle Centrali Telefoniche alle Centrali Computazionali: verso il Cloud Computing", Notiziario Tecnico Telecom Italia Numero 2 - 2010
- [3] Guido Montalbano, Cataldo Tiano, Fabio Valant "Cloud Computing: le soluzioni dei Telecom Italia" - Notiziario Tecnico Telecom Italia Numero 1 - 2011
- [4] ETSI GS NFV 002 v.1.1.1 (2013-10) - "Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework"
- [5] OpenStack Documentation: <http://docs.openstack.org/>
- [6] ETSI NFV Management and Orchestration - An Overview - <http://www.ietf.org/proceedings/88/slides/slides-88-opsawg-6.pdf>
- [7] <http://www.donbot.com/Futurebot/NewTech/NT01360MoravecGraphFirstModification.html>
- [8] Managing the Virtualized Network: How SDN & NFV Will Change OSS, [http://www.heavyreading.com/details.asp?sku\\_id=3082&skuitem\\_itemid=1515](http://www.heavyreading.com/details.asp?sku_id=3082&skuitem_itemid=1515)
- [9] Ivano Guardini, Elena Demaria, Roberto Minerva, Antonio Manzalini e altri "Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action", [http://portal.etsi.org/nfv/nfv\\_white\\_paper.pdf](http://portal.etsi.org/nfv/nfv_white_paper.pdf)
- [10] ETSI Network Functions Virtualisation, <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv>
- [11] Elena Demaria, Andrea Pinnola : "Network Functions Virtualisation (NFV): Network Operator Perspectives on Industry Progress", [http://portal.etsi.org/nfv/nfv\\_white\\_paper2.pdf](http://portal.etsi.org/nfv/nfv_white_paper2.pdf)
- [12] ETSI, "NFV Terminology for Main Concepts in NFV" Oct 2013, [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/003/01.01.01\\_60/gs\\_NFV003v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/003/01.01.01_60/gs_NFV003v010101p.pdf)
- [13] ETSI, "NFV Use Cases", [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gs\\_NFV001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV001v010101p.pdf)
- [14] ETSI, "NFV Virtualization Requirements", Oct 2013, 17 pp., [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/004/01.01.01\\_60/gs\\_NFV004v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/004/01.01.01_60/gs_NFV004v010101p.pdf)
- [15] M. Cohn, "NFV, An Insider's Perspective: Part 1: Goals, History, and Promise" Sep 2013, <http://www.sdncentral.com/education/nfv-insidersperspective-part-1-goals-history-promise/2013/09/>
- [16] M. Cohn, "NFV Insider's Perspective, Part 2: There's a Network in NFV - The Business Case for SDN" Sep 2013, <http://www.sdncentral.com/education/nfv-insiders-perspective-part-2-theres-network-nfv-business-case-sdn/2013/09/>
- [17] M. Cohn, "NFV Group Flocks to Proof-of-Concept Demos" Aug 2013, <http://www.sdncentral.com/technology/nfv-group-flocks-to-proof-ofconcept-models/2013/08/>
- [18] W. Xu, et al., "Data Models for NFV" IETF Draft, Sep 2013, <http://tools.ietf.org/html/draft-xjz-nfv-model-datamodel-00>
- [19] CloudNFV, <http://www.cloudnfv.com/page1.html>
- [20] Intel, "Open simplified Networking Based on SDN and NFV" 2013, 7 pp., <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/whitepapers/sdn-part-1-secured.pdf>
- [21] J. DiGiglio, and D. Ricci, "High Performance, Open Standard Virtualization with NFV and SDN" [http://www.windriver.com/whitepapers/ovp/ovp\\_whitepaper.pdf](http://www.windriver.com/whitepapers/ovp/ovp_whitepaper.pdf)
- [22] Frank Ohlhorst "OpenStack: An Overview", <http://www.networkcomputing.com/cloud-infrastructure/openstack-an-overview/d/d-id/1233990?>

luigi.grossi@telecomitalia.it  
 eugenio.maffione@telecomitalia.it  
 giancarlo.marasso@telecomitalia.it  
 simone.ruffino@telecomitalia.it



### **Luigi Grossi**

da oltre 25 anni in Azienda, dove ha iniziato come sistemista di reti dati a larga banda e di commutazione in progetti nazionali ed internazionali che hanno anche portato ai primi dispiegamenti di rete ATM in Italia. Successivamente ha avuto la responsabilità di progetti di sviluppo di piattaforme per il controllo e la gestione delle reti di telecomunicazioni (es. progetto internazionale TINA) e ha portato la sua esperienza nella valutazione dei costi di rete delle partecipate estere e nella gara di acquisizione di TeleBras. Da quasi dieci anni è ora impegnato nello sviluppo di progetti di innovazione delle piattaforme di servizio rivolte a grandi clienti e pubbliche amministrazioni, con particolare riferimento ad applicazioni per il turismo e l'infomobilità, alle tecnologie machine-to-machine, al cloud computing ed alle tecniche di Software Defined Networking.



### **Eugenio Maffione**

informatico, entra in Azienda nel 1995, dove ha partecipato a diversi progetti ICT, alcuni di rilievo nazionale, in collaborazione con Microsoft, HP/Compaq, EMC, Cisco e altre società attive. Dal 2003 si è occupato del coordinamento di progetti innovativi per TIM e Telecom Italia, della gestione dei laboratori di Content & Storage Networking e di IP Multiservice Network Control e dell'attività di ricerca e prototipazione su tali tematiche. Più recentemente ha lavorato sugli algoritmi per il profiling e le architetture Big Data. È co-inventore di diversi brevetti di Telecom Italia, relativi allo Storage Networking, alla distribuzione di contenuti multimediali, alla QoS e al Behavioral Advertising. Dal 2013 si occupa di NFV e ha partecipato alla progettazione e al deployment di JoLNet, il testbed distribuito di Telecom Italia per la sperimentazione integrata SDN/NFV. Prima di entrare in Azienda, è stato co-fondatore e responsabile tecnico di una Software House in Torino focalizzata alla realizzazione di software per Banche e SME, dove ha lavorato per circa dieci anni.



### **Giancarlo Marasso**

informatico, entra in Azienda nel 1992, occupandosi di sicurezza nei protocolli ISO/OSI per la gestione di sistemi aperti. Ha proseguito la sua carriera occupandosi di innovazione negli OSS, realizzando soluzioni per il delivery di servizi Consumer e sistemi di monitoraggio della qualità del servizio. Dal 1999, in qualità di Project Leader, ha collaborato prima con Vodafone, occupandosi del mediation realtime tra il Customer Care Billing System e la Rete Intelligente e successivamente in Telecom Italia dello sviluppo e della messa in campo della prima soluzione IMS per il fisso. Attualmente si occupa di un progetto innovativo sull'evoluzione OSS per abilitare il paradigma del Cloud ai servizi di Rete tradizionali e segue i temi NFV/SDN legati all'OSS.



### **Simone Ruffino**

ingegnere informatico è entrato in Telecom Italia nel 1998. È attualmente impegnato in progetti di ricerca sulle Network Function Virtualization e Software Defined Networking, focalizzati all'applicazione delle tecnologie cloud alle reti fisso/mobili dell'Operatore. In questo ambito, si occupa anche della valutazione e testing di soluzioni innovative SDN/NFV commerciali e open source. In passato, si è occupato dell'analisi e valutazione dei prodotti per la rete core mobile 4G. Ha partecipato a diversi progetti finanziati UE nel settore della Future Internet. È stato coinvolto in diverse attività di standardizzazione nel WiMAX Forum e IETF, in materia di reti ad-hoc mobili e la mobilità IP. È stato project manager di progetti di ricerca connessi con il wireless mobile e tecnologie di rete innovative.