

01

ICN WITH EDGE FOR 5G

Exploiting in-network
caching in ICN-based edge
computing for 5G networks

Luca Saverio Esposito

0334321

Mobile System and Applications

Indice

Suggerimento: clicca sul nome di una pagina per raggiungerla

INTRODUZIONE

[Introduzione](#)

[ICN](#)

[Edge computing](#)

[Problema](#)

[Obiettivi e sfide](#)

ARCHITETTURA

[Architettura](#)

[Caching gerarchico](#)

[D2D communication](#)

[ICN implementation](#)

[Content prefetching](#)

[Prefetching naming scheme](#)

[Prefetching strategies](#)

PERFORMANCE

[Ambiente simulato](#)

[Criteri di valutazione](#)

[Risultati](#)

ANALISI

[Adaptation managment](#)

[Adaptation implementation](#)

[Aspetti funzionali](#)

[Data staging](#)

[Prefetching](#)

[Surrogate provisioning](#)

[Surrogate discovery](#)

[Aspetti non funzionali](#)

CONCLUSIONI

[Possibili miglioramenti](#)

[Conclusioni](#)

03

Introduzione

Combinare i paradigmi

- **ICN (Information-centric Networking)**
- **Edge computing**

Per sfruttare

- **Meccanismi di caching**
- **Data locality**

Col fine di migliorare le prestazioni del 5G riducendo gli accessi al core network.

[Torna all'indice](#)

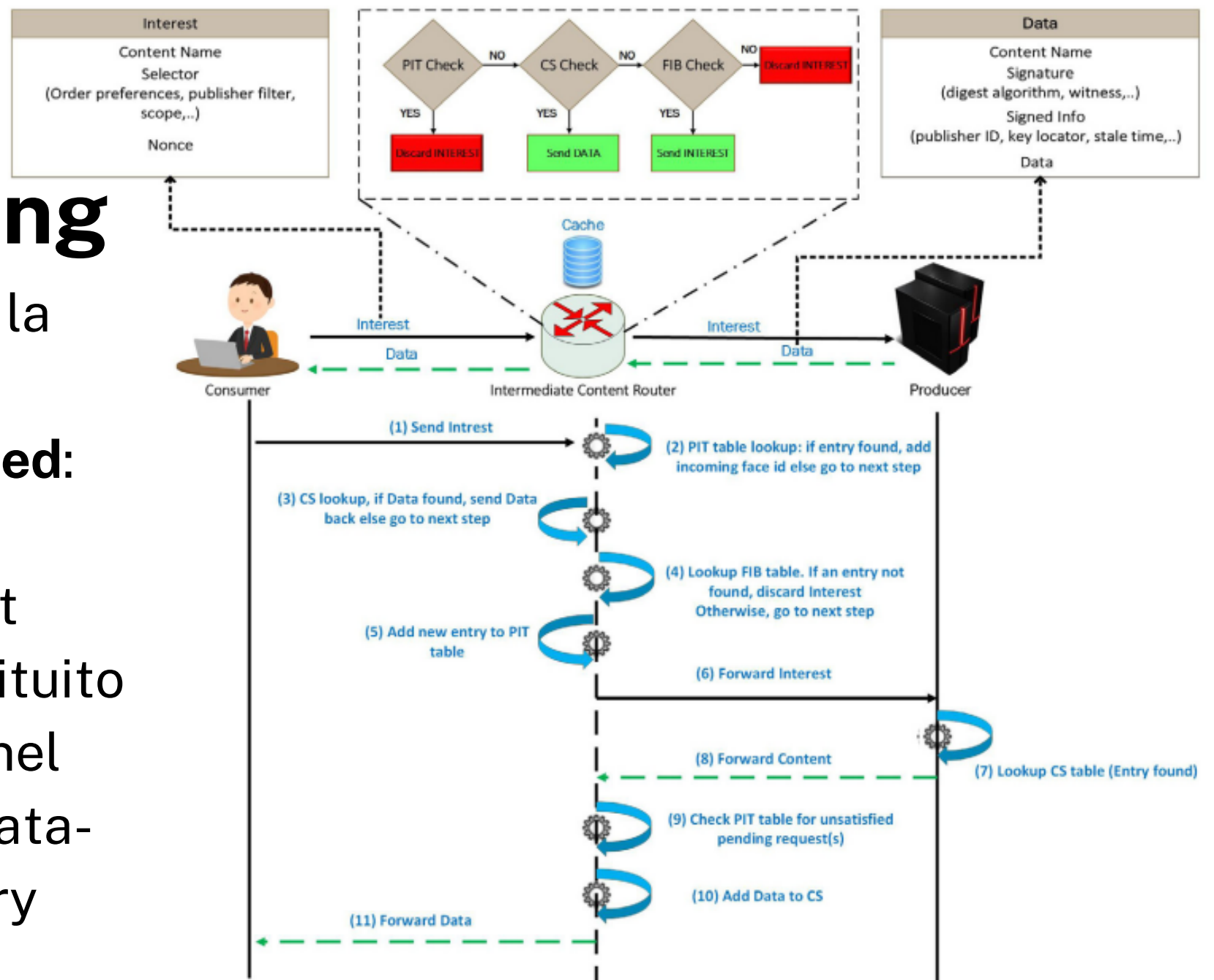
ICN

Information-centric networking

Un nome per ogni dato/contenuto, senza sapere la locazione fisica del provider.

NDN (Name Data Networking) modello pull-based:

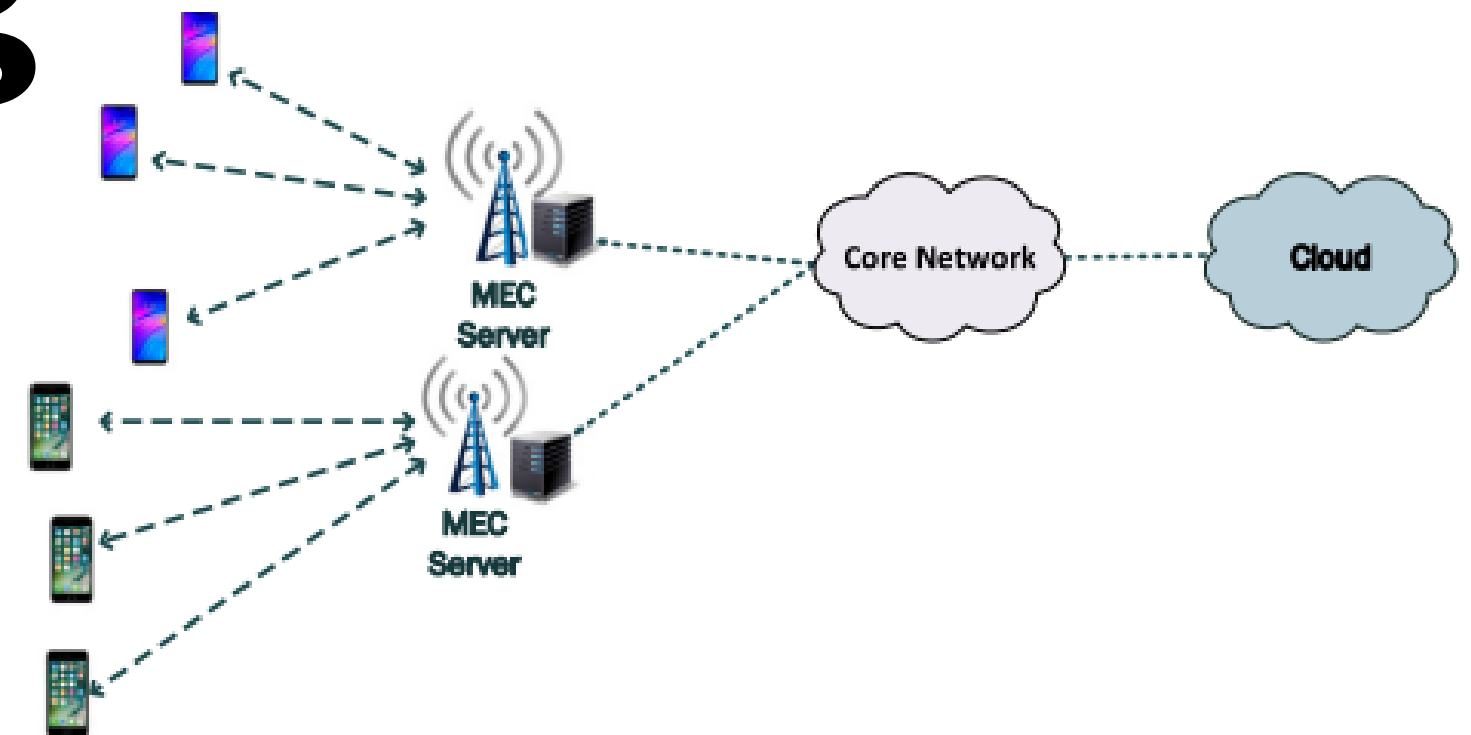
- Il consumer invia un Interest packet
- Se il dato è all'interno del PIT, scarta interest
- Altrimenti data-check su CS, in tal caso restituito
- Oppure inoltrata tramite interfacce salvate nel FIB, raggiunge data producer restituisce il data-packet, si salva nel CS e si aggiunge PIT entry



05

Edge computing

- Spostare i servizi cloud vicino agli end-user, per cercare di ridurre accessi al core-network
- **MEC** (Multi-access edge computing) è l'architettura di tipo edge utilizzata. Utilizza **meccanismi di caching** nei MEC server per ridurre tempo di accesso alle risorse



[Torna all'indice](#)

06

Internet è in continua evoluzione

[Torna all'indice](#)

-
- Quantità e diversità di device
 - Tipologia di dati trasmessi
 - Durata delle connessioni

-
- Smartphone, tablet, dispositivi IoT
 - Multimediali
 - Brevi e frequenti
 - Circa 50 exabytes (10^{18}) nel 2021

Obiettivi e sfide

[Torna all'indice](#)

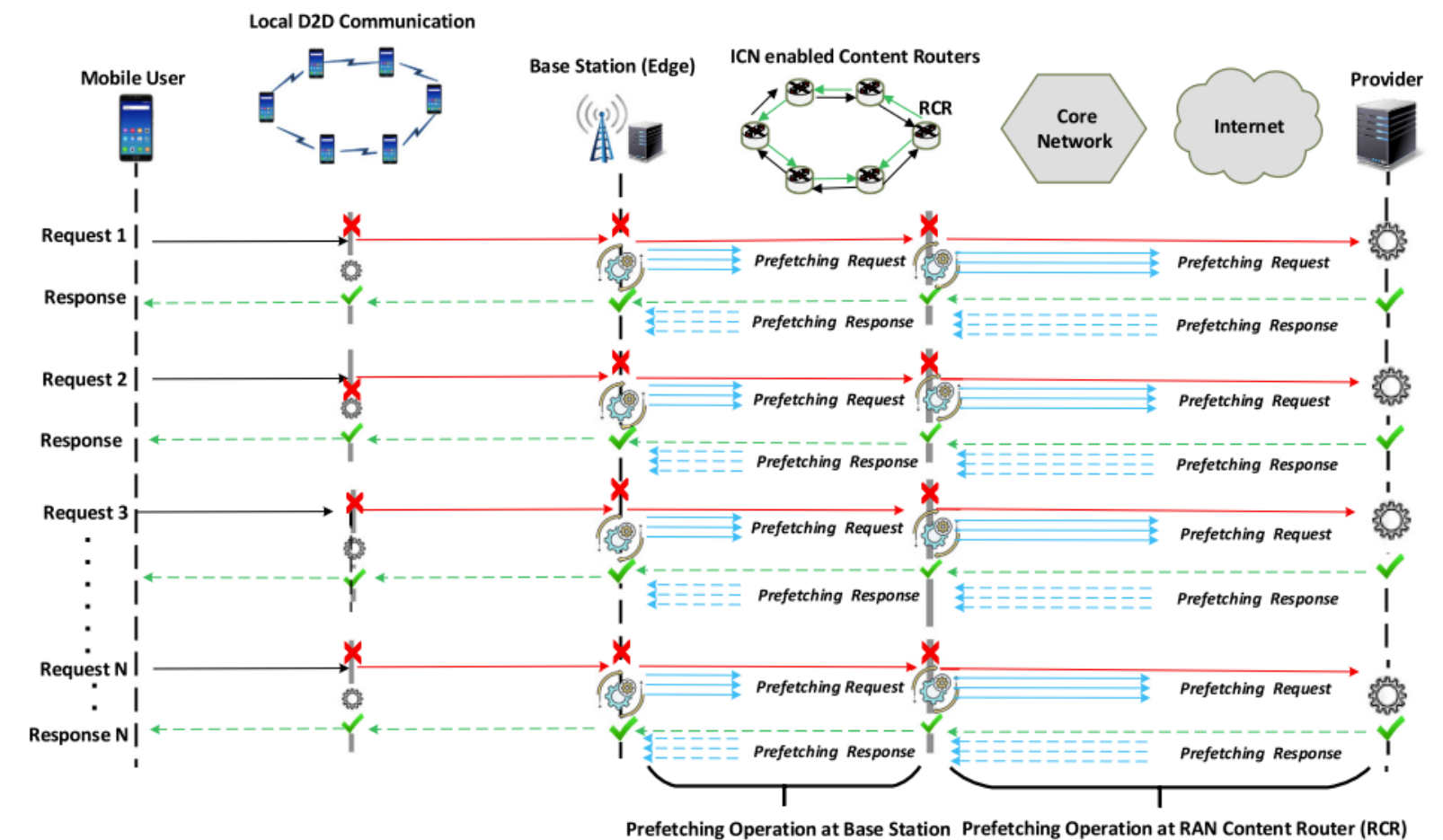
Obiettivi	Sfide
<ul style="list-style-type: none">• Sfruttare la capacita di caching di ICN a livello di device e a livello di base stations• Portate i contenuti vicino agli end-user per ridurre gli accessi al core network	<ul style="list-style-type: none">• Compensare handoff delay prodotto da ICN quando viene abilitato a livello di device• Gestione del contenuto dinamico, non adatto ai meccanismi di caching

Architettura

Un mobile user alla ricerca di un contenuto invia un interest request. Questa si propaga tra i vari livelli dell'architettura.

- **Nearby mobile device**
- **Base Station**
- **ICN-enabled routers**
- **Cloud provider**

La richiesta si ferma ad un livello intermedio non appena c'è una hit nella cache.



Architettura

Caching gerarchico

[Torna all'indice](#)

Devices

Il mobile user invia l'interest packet ai device vicini, cercano nella loro cache il contenuto. In caso positivo lo inoltrano altrimenti contattano la BS.

Base Station

La richiesta arriva alla base station, cerca nel suo CS per il contenuto. Se lo trova lo inoltra al mobile user, altrimenti, invia la richiesta agli ICN-routers.

ICN-routers

Controllano nella loro cache se è presente il contenuto. Se lo trovano lo restituiscono al mobile user altrimenti contattano il provider/cloud via core network.

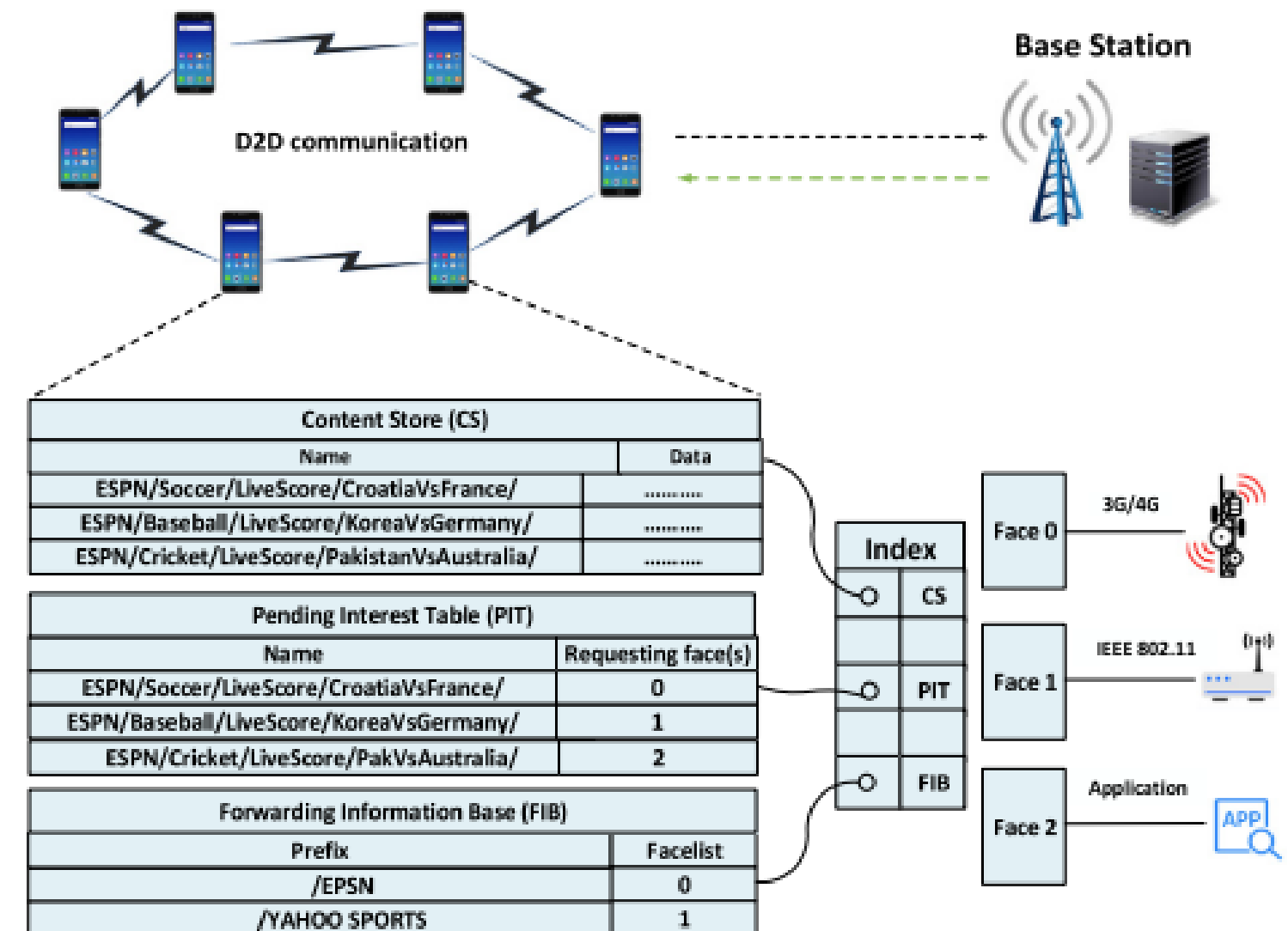
Architettura

D2D Communication

La comunicazione avviene sotto due assunzioni.

- **No privacy-issue:** durante la trasmissione, tutti i device sono autenticati
- **Friendly environment:** risorse liberamente disponibili per gli altri device

Solo quando la risorsa non è disponibile tra i device si contatta la base station.



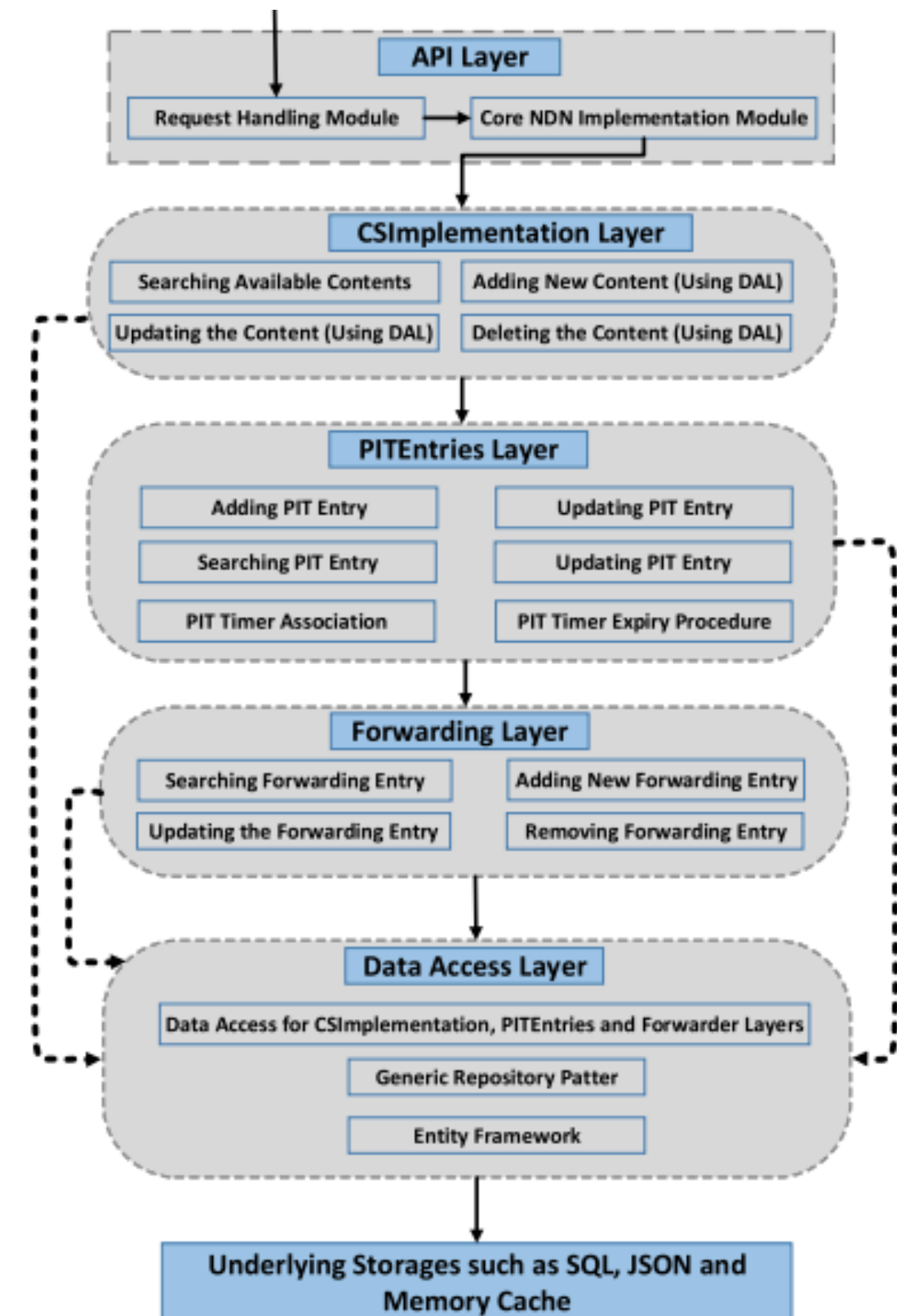
Architettura

ICN implementation su BSs

Per utilizzare le strutture dati di ICN sulle base stations, implementazione su application layer. Composto da vari livelli.

- API layer
- CS implementation layer
- PIT entries layer
- Forwarding layer
- DAL (Data access layer)

[Torna all'indice](#)



Architettura

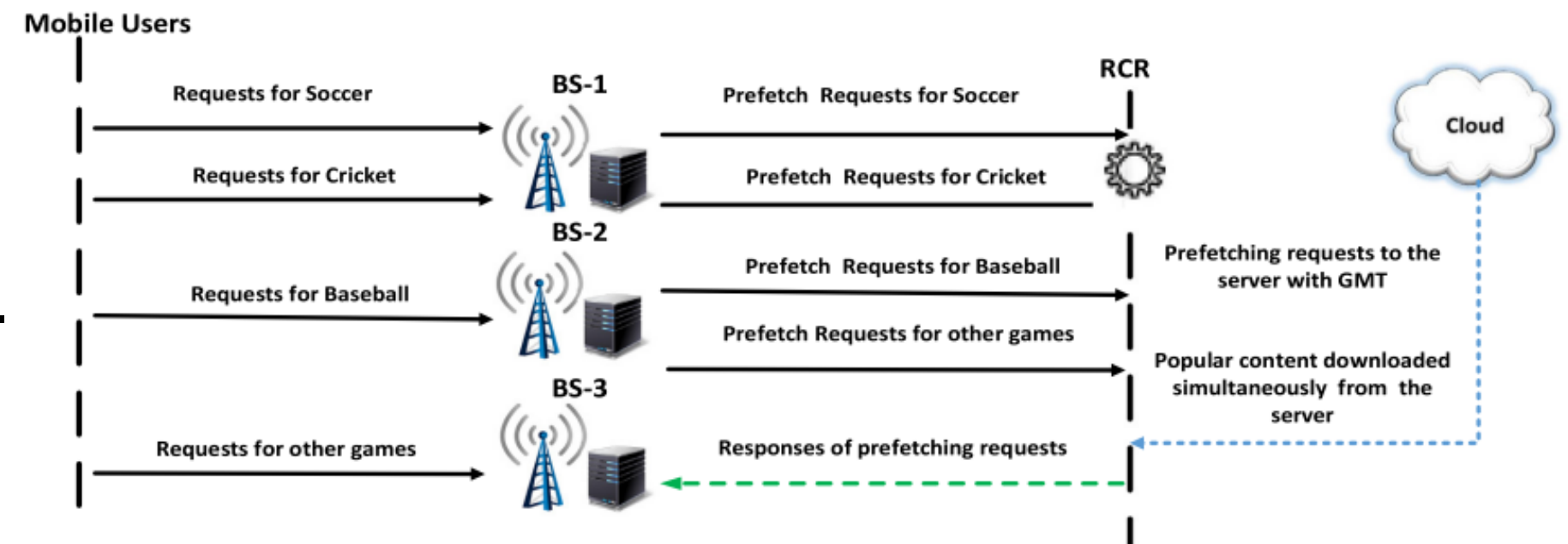
Content prefetching

I contenuti dinamici cambiano nel tempo, utilizzare caching non è l'approccio corretto.

Strategia di **prefetching** su

- Base stations
- RCR (RAN content router) ossia ICN router connesso al core network

Basata sulla **popolarità delle richieste**.

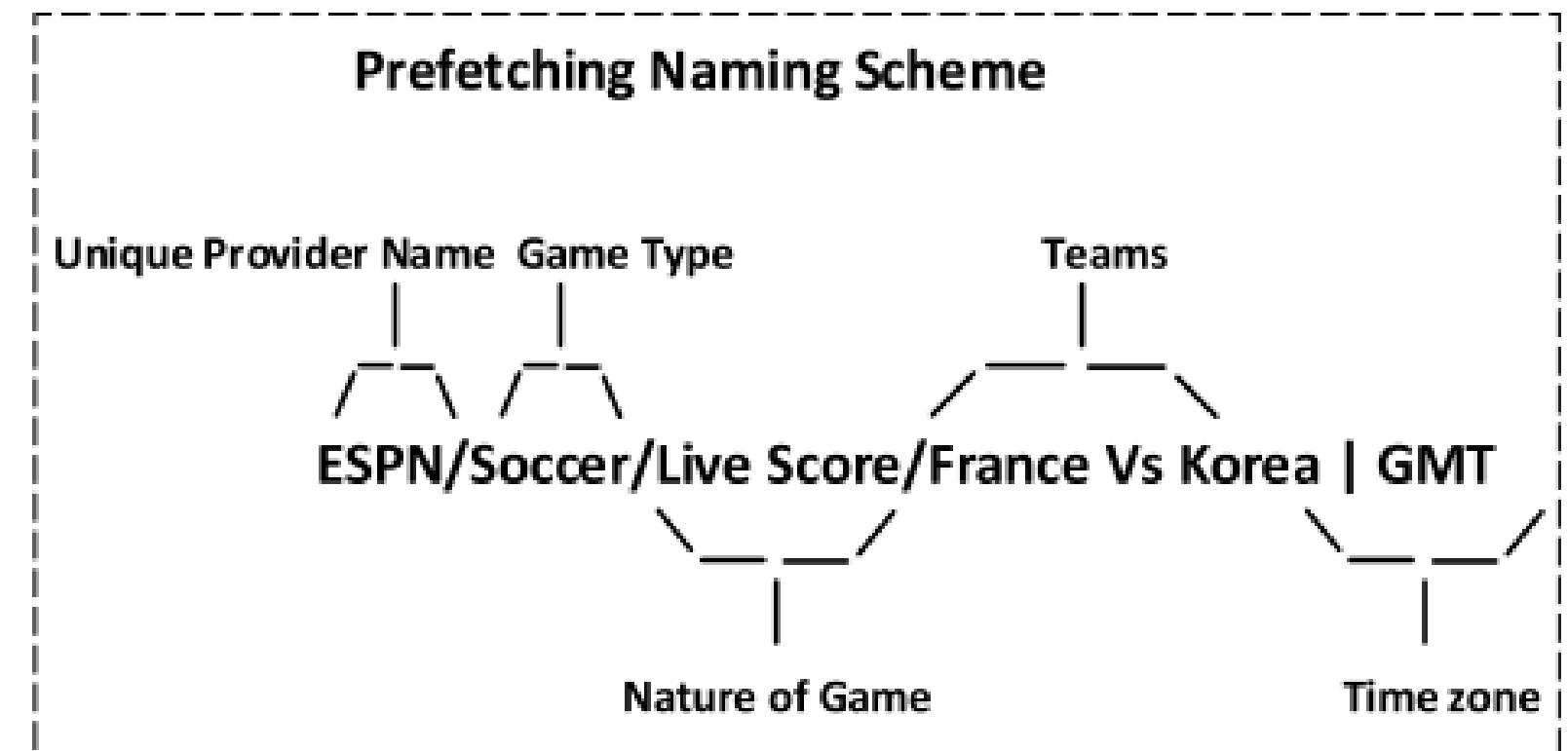


Architettura

Prefetching naming scheme

Lo schema comprende diverse componenti.

- Provider name (univoco)
- Nome del contenuto
- Natura dei dati
- Entità coinvolte
- Time zone



[Torna all'indice](#)

Architettura

Prefetching strategies

Base station

Ogni edge node misura la frequenza delle richieste. Superata una certa threshold, esegue prefetch dell'ultima versione del contenuto. Questo viene salvato nel suo CS.

RAN content router

Anche il nodo RCR (RAN content router) misura la frequenza delle richieste. Tuttavia provengono da differenti BSs, quindi profili d'uso differenti e maggior traffico.

Le possibili politiche di aggiornamento.

- LRU (Least recently used)
 - LFU (Least frequently used)
-

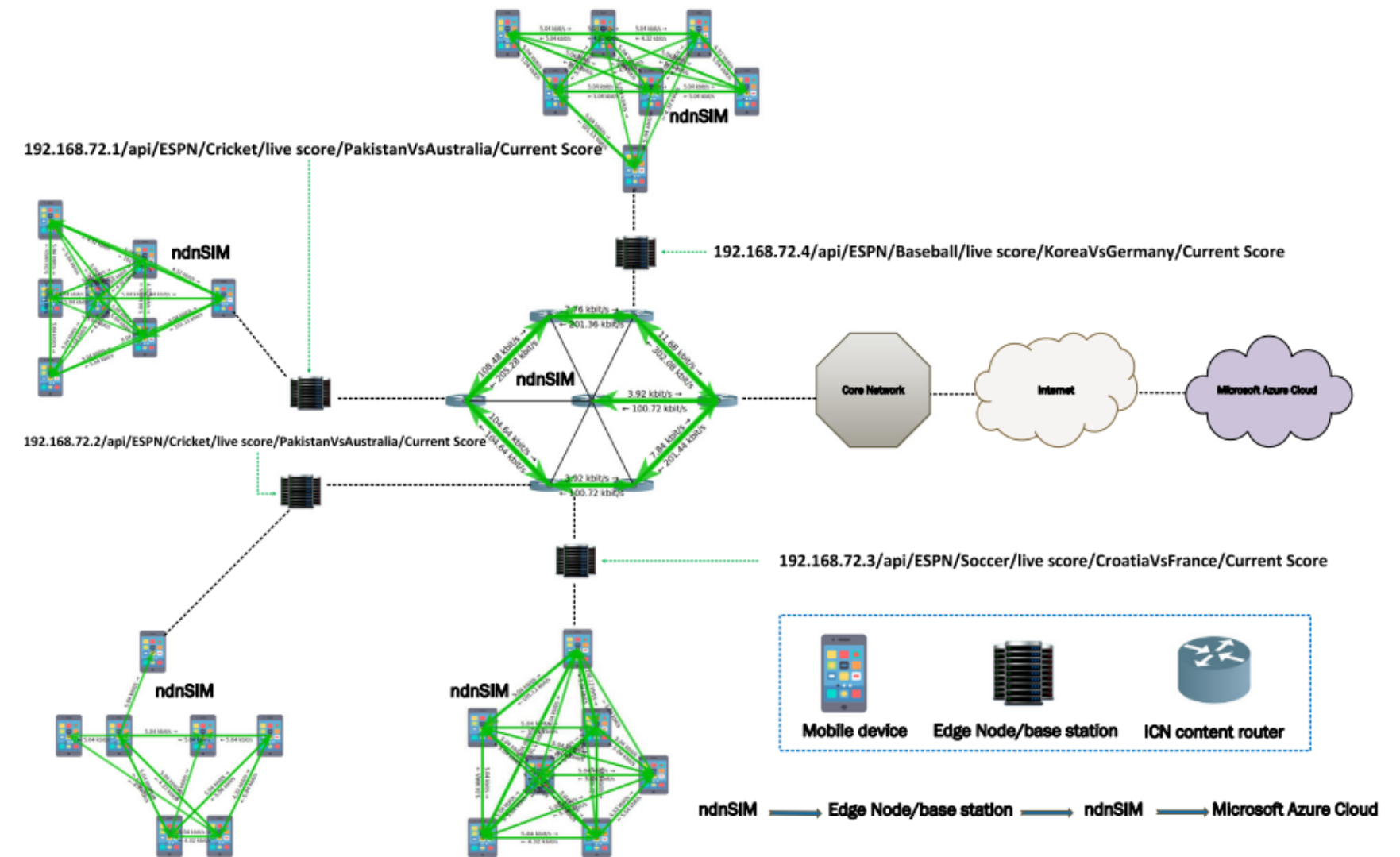
Performance

Ambiente simulato

L'ambiente è stato realizzato mediante

- ndnSIM per le richieste da mobile-device
- Edge node/base station
- ndnSIM per simulare ICN content router
- Microsoft Azure Cloud come provider

Utilizzati cataloghi da 1000 a 5000 dati, su diverse threshold per un tempo di 120 sec.



Performance

Criteri di valutazione

Metriche

Per valutare il framework sono state utilizzate

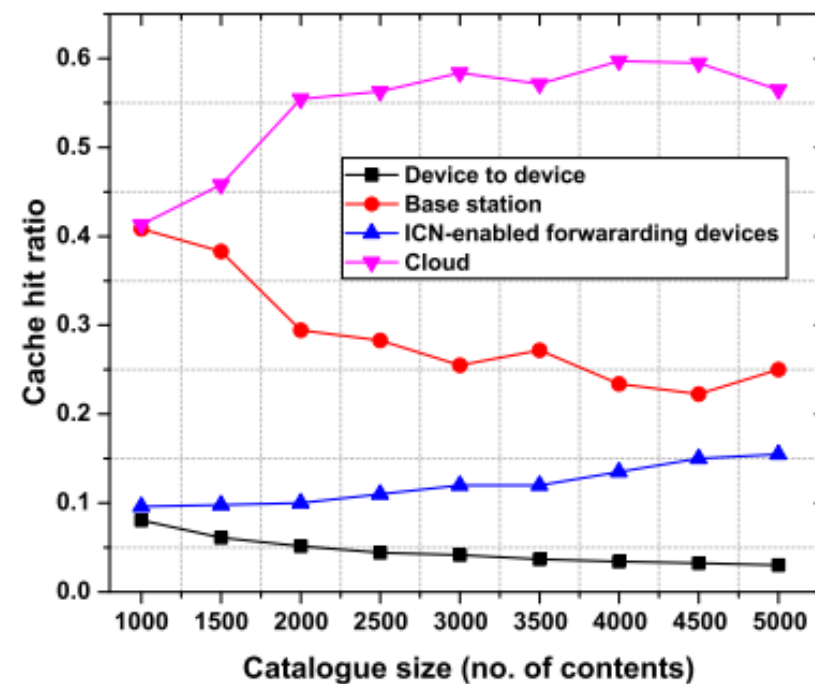
- **Average Cache Hit Ratio (CHR)**
misura quanti interest-packets una cache soddisfa su quanti sono inviati
- **Average latency** il tempo consumato dai vari dispositivi per adempiere ai data-exchanges

Confronto

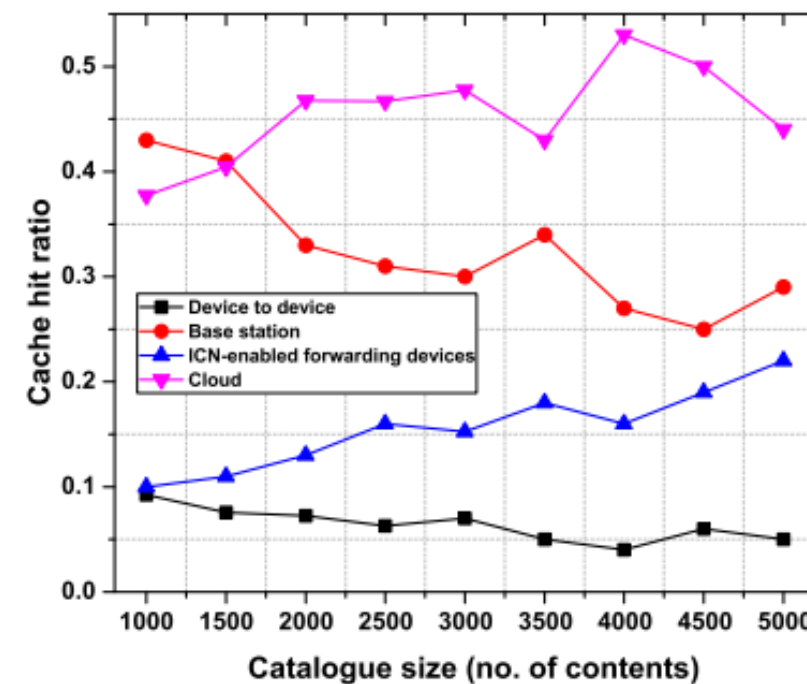
Sono state confrontate le metriche nelle due situazioni

- Prefetching disabilitato
- Prefetching abilitato

No prefetching



Con prefetching



17

Risultati

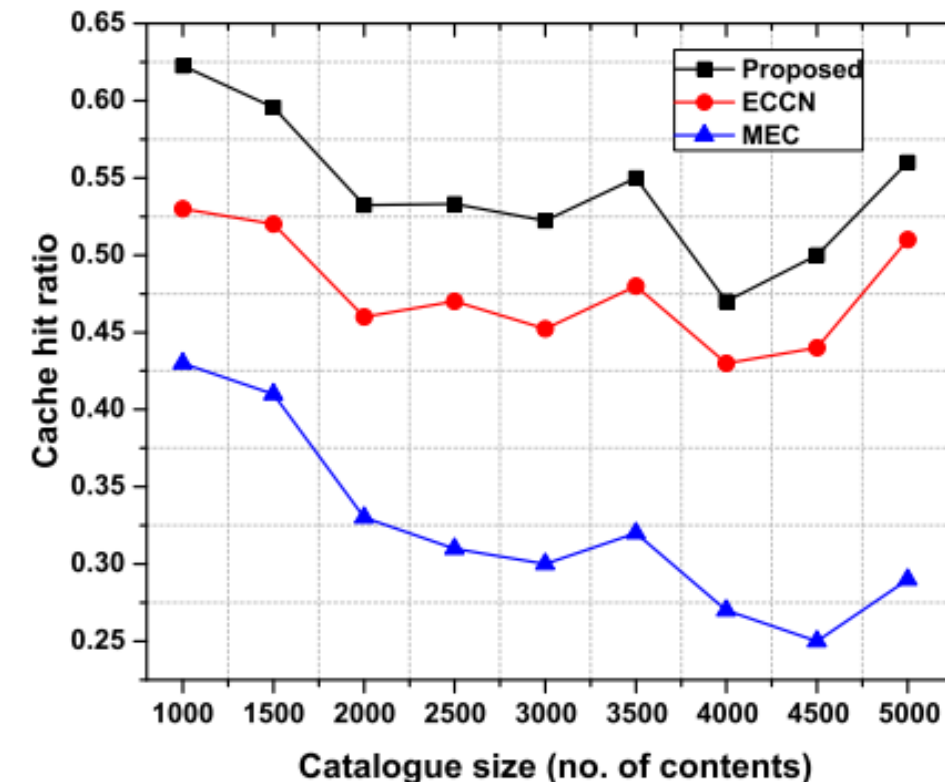
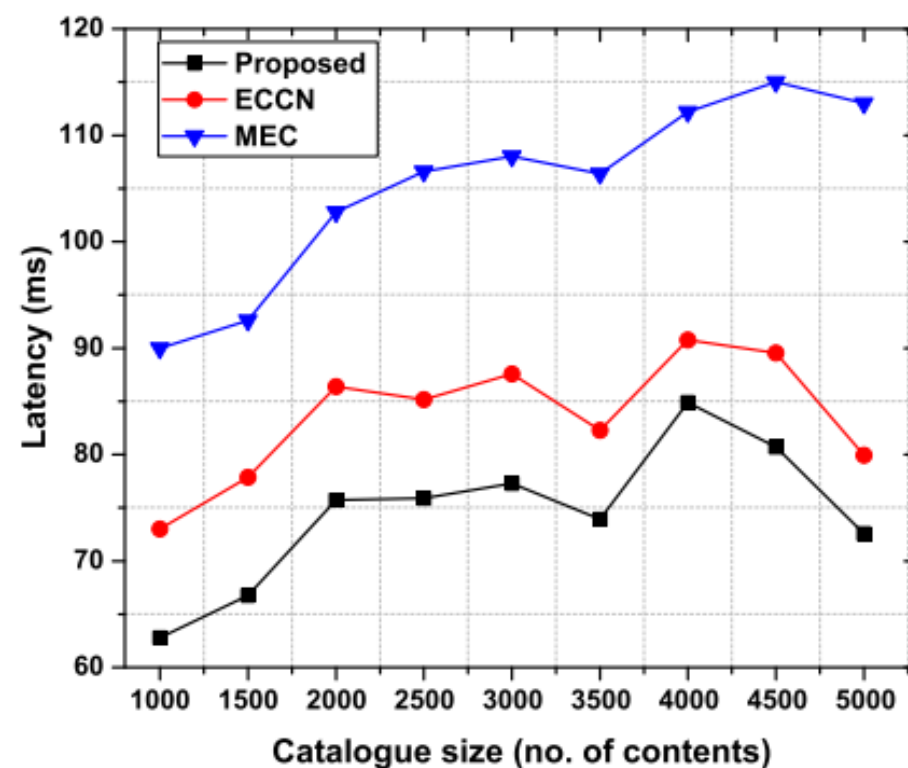
I risultati della simulazione mostrano una riduzione del traffico nel core network, fino ad un 26% con prefetching attivo. Infatti, aumenta la CHR sia sulle BSs sia sugli ICN-router, mentre diminuisce nel Cloud.

Sono state confrontate anche le metriche ottenute su due sistemi esistenti

- ECCN
- MEC

I risultati ottenuti dalla soluzione proposta sono migliori rispetto ad essi.

Si evince un'inversa proporzionalità tra cache hit ratio e latenza.



[Torna all'indice](#)

Analisi

Adaptation management

Adaptation management (“intelligence”)

- ❑ Category: Locus of responsibility
 - (from the application level viewpoint)

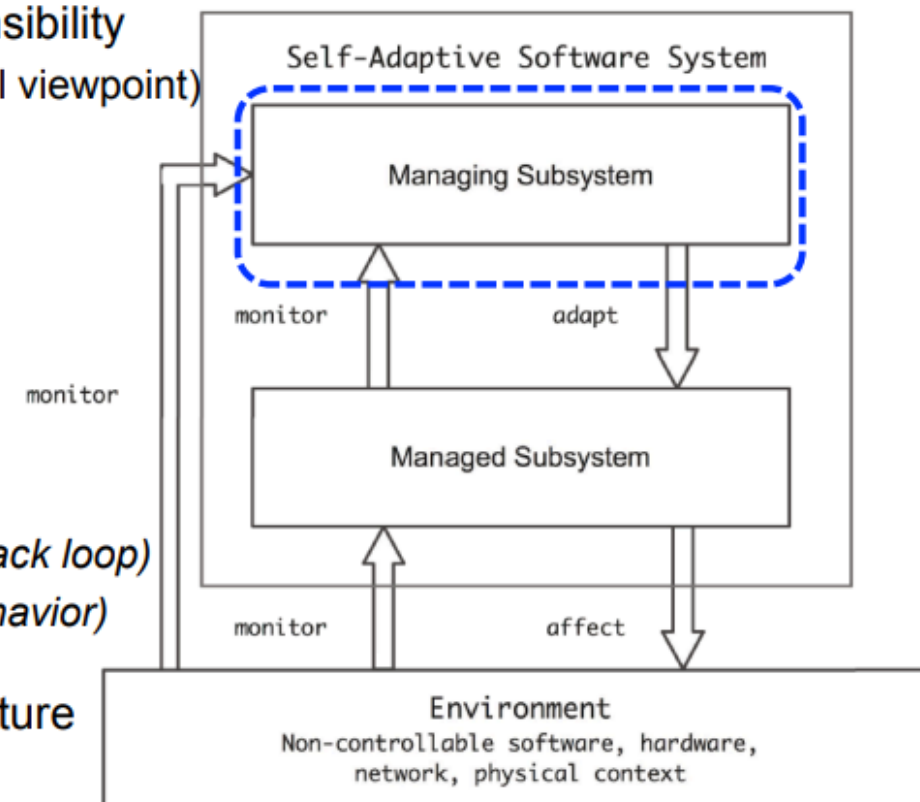
- ❑ Tactics :
 - *total transparency*
 - *total responsibility*
 - *application-aware*

- ❑ Category: Type of control

- ❑ Tactics :
 - *Top-down (explicit feedback loop)*
 - *Bottom-up (emergent behavior)*

- ❑ Category: Control architecture

- ❑ Tactics :
 - *decentralized control*
 - *hierarchical control*



- **locus of responsibility** → application-aware

Sia l'applicazione che il sistema sottostante collaborano per garantire l'adattamento. Es. ICN application layer su BSs, mentre nativo su ICN routers.

- **type of control** → top-down

Feedback control loop parzialmente-decentralizzato

- **control architecture** → hierarchical control pattern

Approccio gerarchico, loop a basso livello operano su una scala limitata di richieste rispetto ai layer superiori.

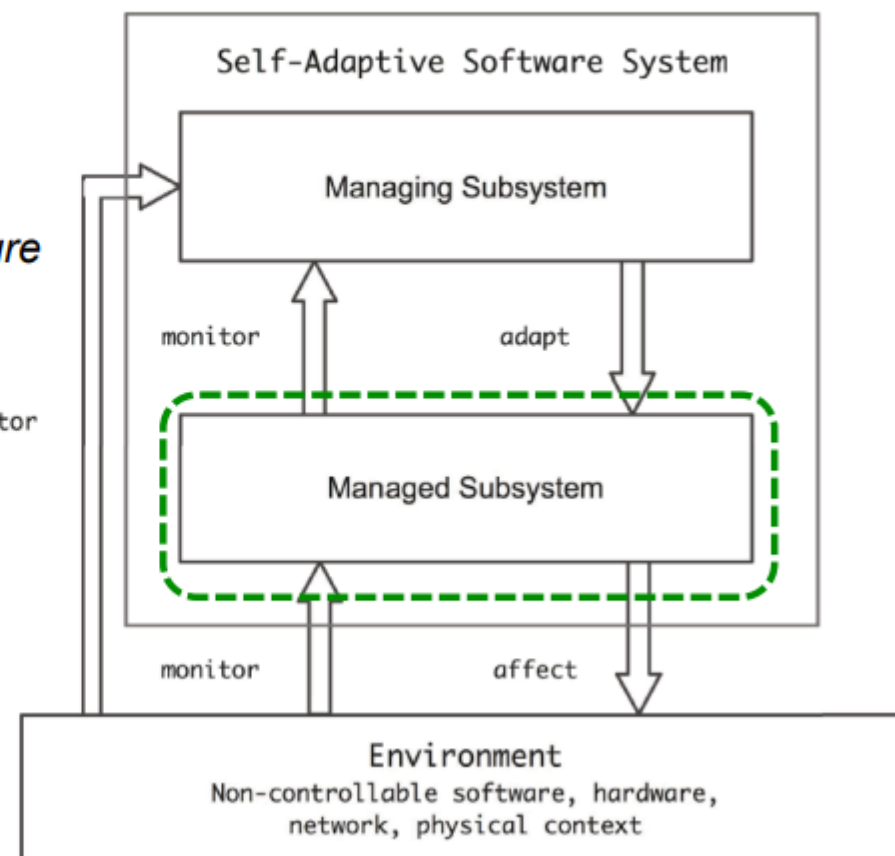
[Torna all'indice](#)

Analisi

Adaptation implementation

Adaptation implementation ("toolset")

- ❑ Category: Malleability
- ❑ Tactics :
 - *variable data fidelity*
 - *loosely coupled architecture*
 - *loose connectors*
 - *loose components*
 - *loose deployment*
- ❑ Category: Cyber foraging
- ❑ Tactics :
 - *computation offload*
 - *data staging*
 - ...



- **malleability** → loosely coupled architecture

L'approccio è di tipo loose connectors.

Request-Response è la soluzione utilizzata.

- **cyber foraging** → funzionali

- Data staging
- Surrogate provisioning
- Surrogate discovery

- **cyber foraging** → non funzionali

Alcuni di questi aspetti sono trattati come future challenges da realizzare.

[Torna all'indice](#)

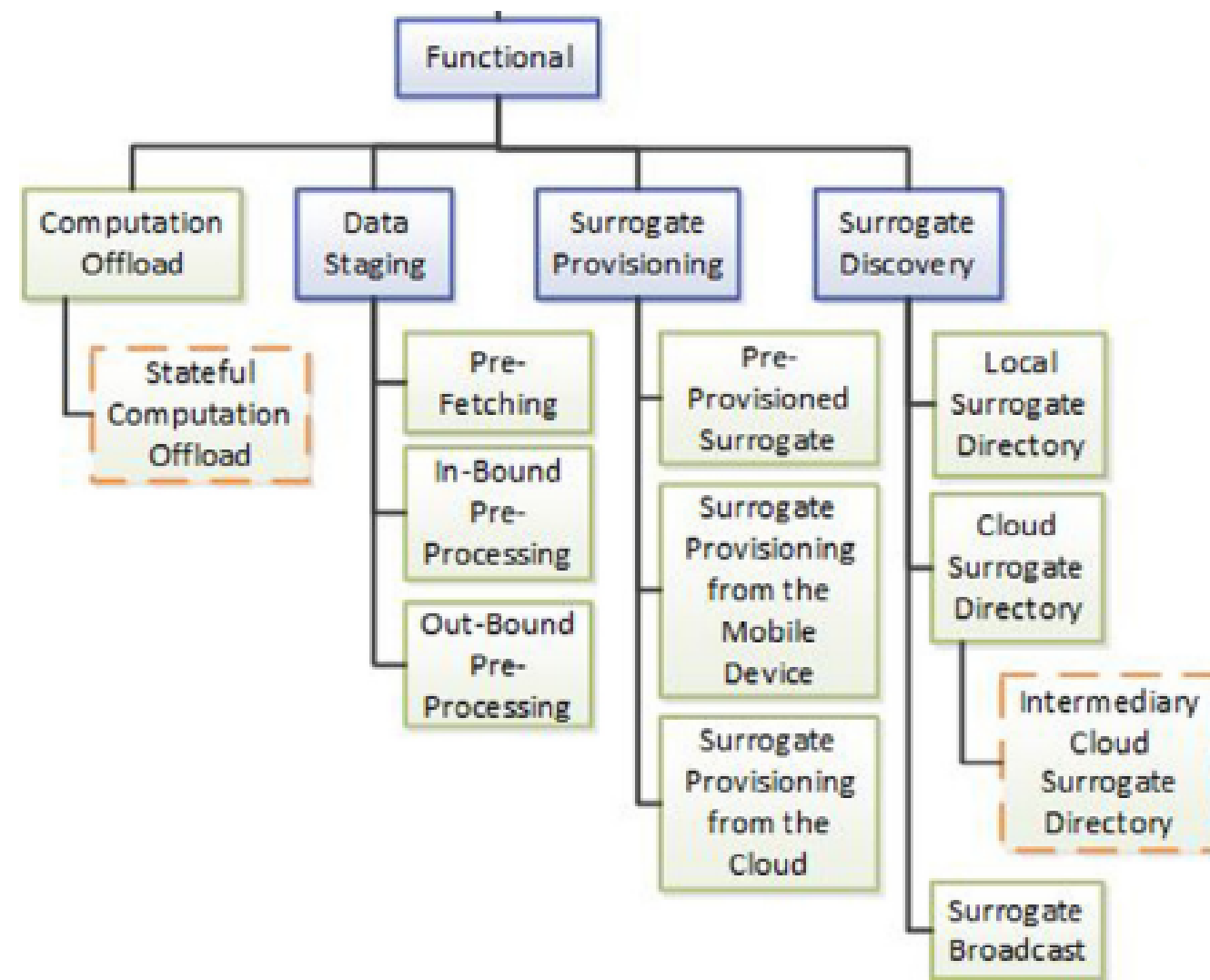
Analisi

Aspetti funzionali

E' possibile identificare le soluzioni utilizzate per

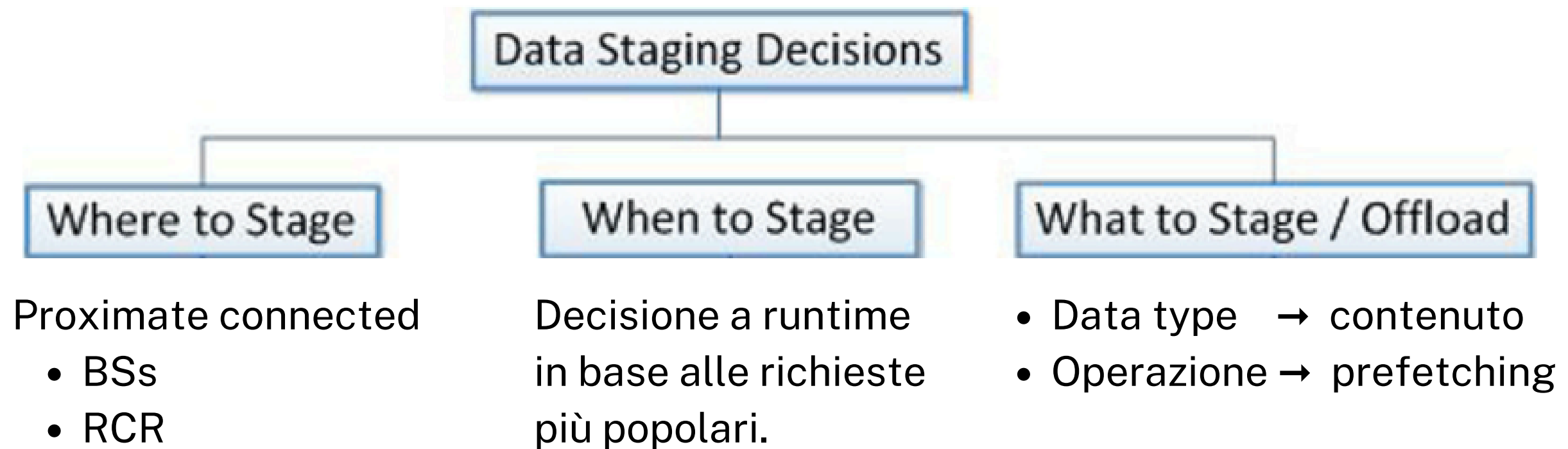
- **Data staging**
- **Surrogate provisioning**
- **Surrogate discovery**

Mentre, fa parte degli aspetti lasciati in sospeso la possibilità di eseguire **computation offload**.



Analisi

Data staging decisions



[Torna all'indice](#)

Analisi

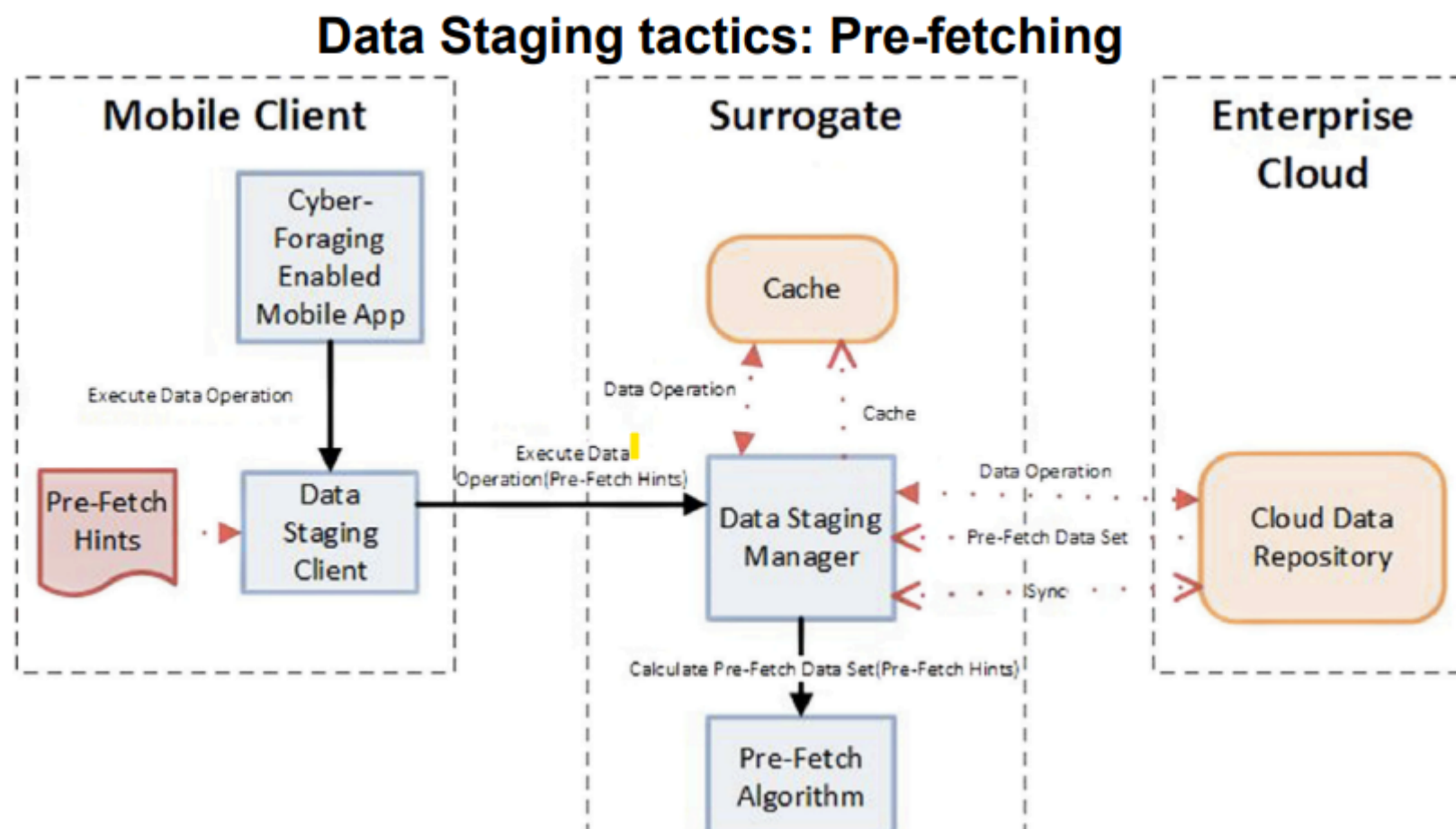
Data staging

L'obiettivo cardine del sistema è proprio quello di ridurre gli accessi al core network, utilizzando meccanismi di caching e **prefetching**.

I dati dinamici vengono pre-caricati sia sui BSs che sul RAN content router, in modo tale da limitare il numero di richieste verso il cloud-provider.

Questo implica la presenza di

- **surrogate provisioning**
- **surrogate discovery**



[Torna all'indice](#)

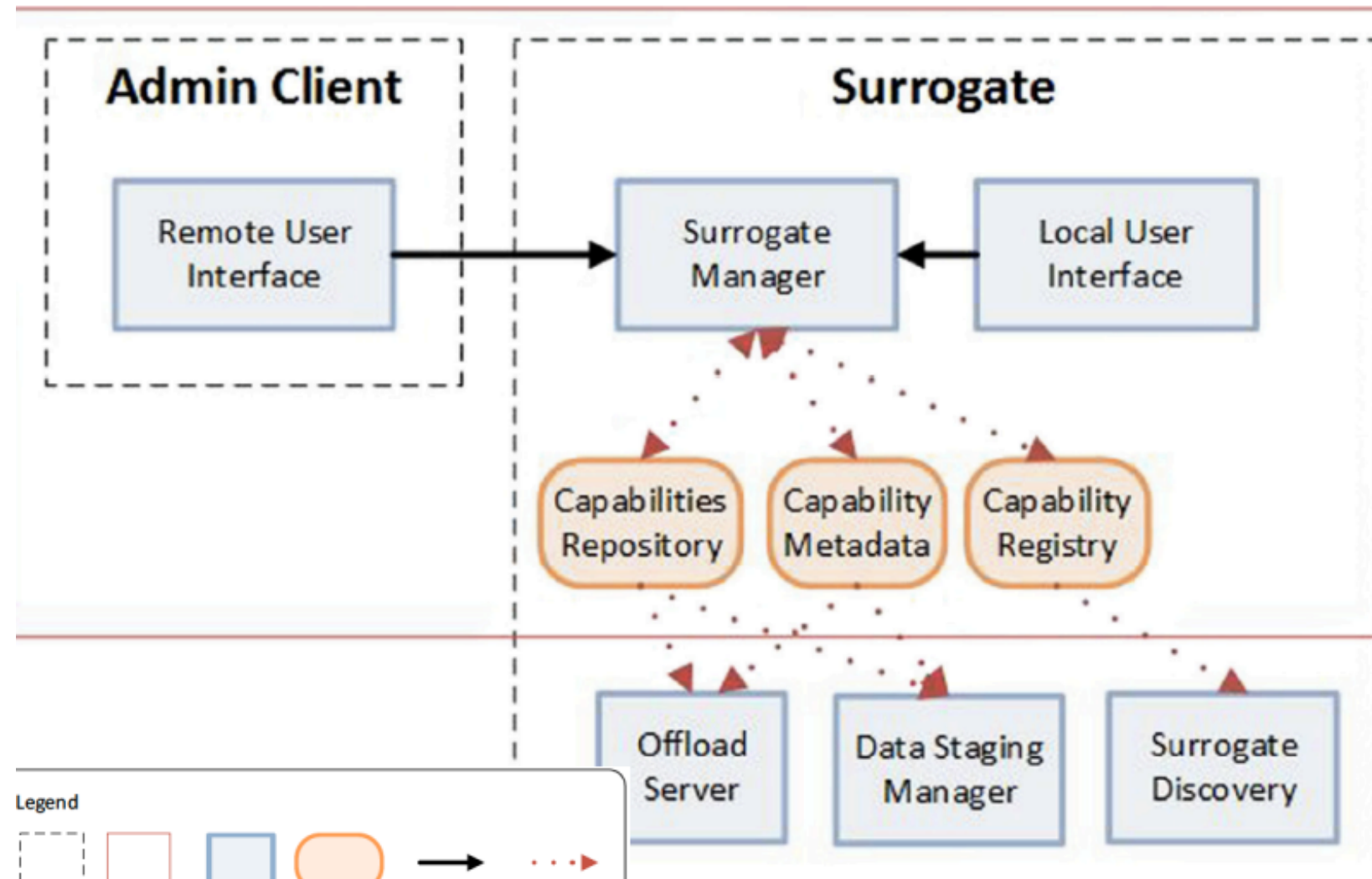
23

Analisi

Surrogate provisioning

La struttura del sistema è ben definita. BSs e RCR sono predisposti in anticipo e sono in costante ascolto delle richieste per i vari contenuti. Stesso vale per il cloud provider. Per questo si identifica una soluzione **pre-provisioned surrogate**.

Surrogate provisioning tactics: Pre-provisioned Surrogate

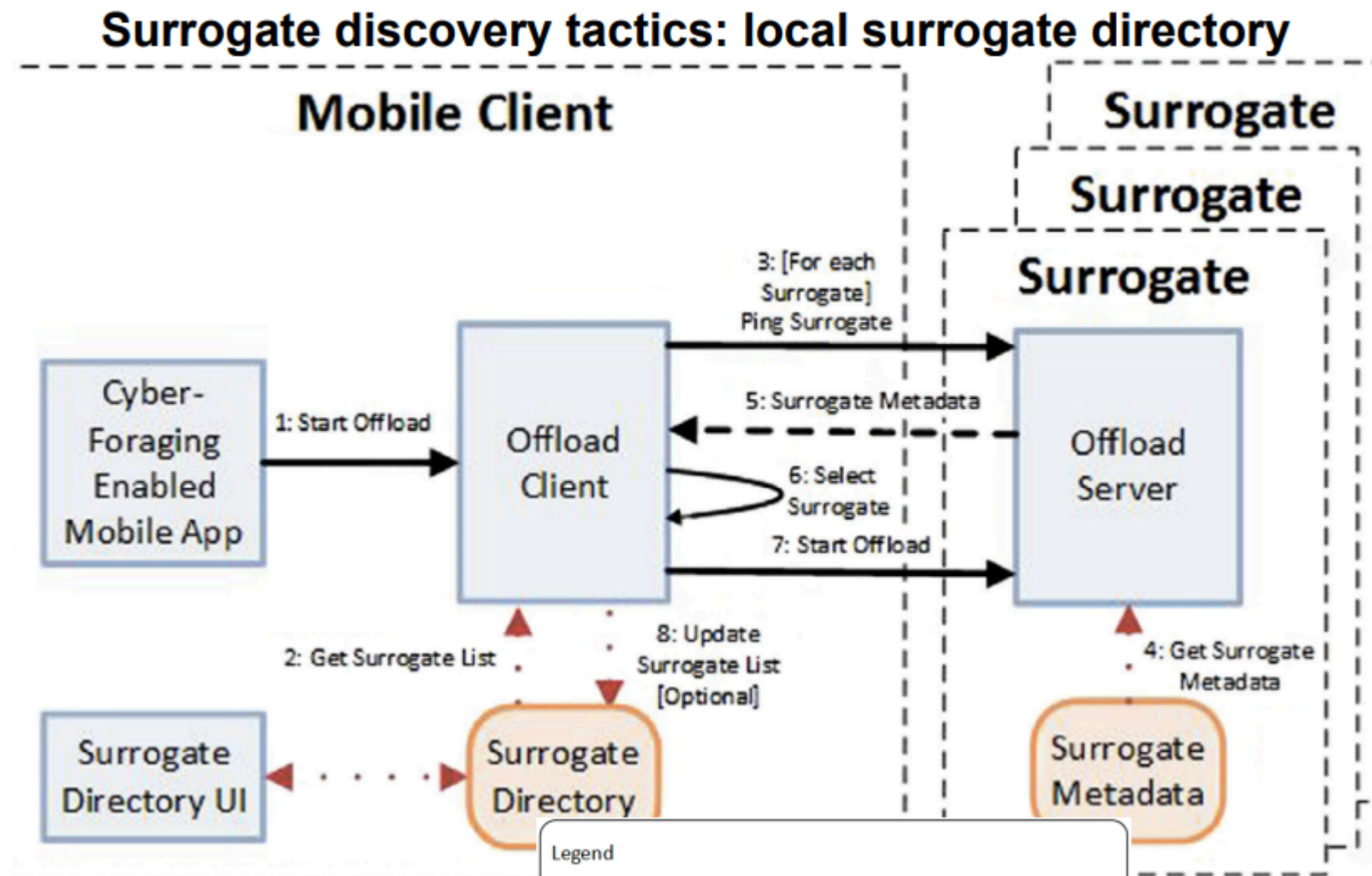


[Torna all'indice](#)

Analisi

Surrogate discovery

Nell'ambiente di setup, per semplicità, viene utilizzato il paradigma **local surrogate directory**. Ogni dispositivo conosce "staticamente" i device di "livello superiore", ossia i surrogati da contattare. Tra le challenge aperte, identificare quale sia la soluzione più efficiente da utilizzare.



[Torna all'indice](#)

Analisi

Aspetti non funzionali

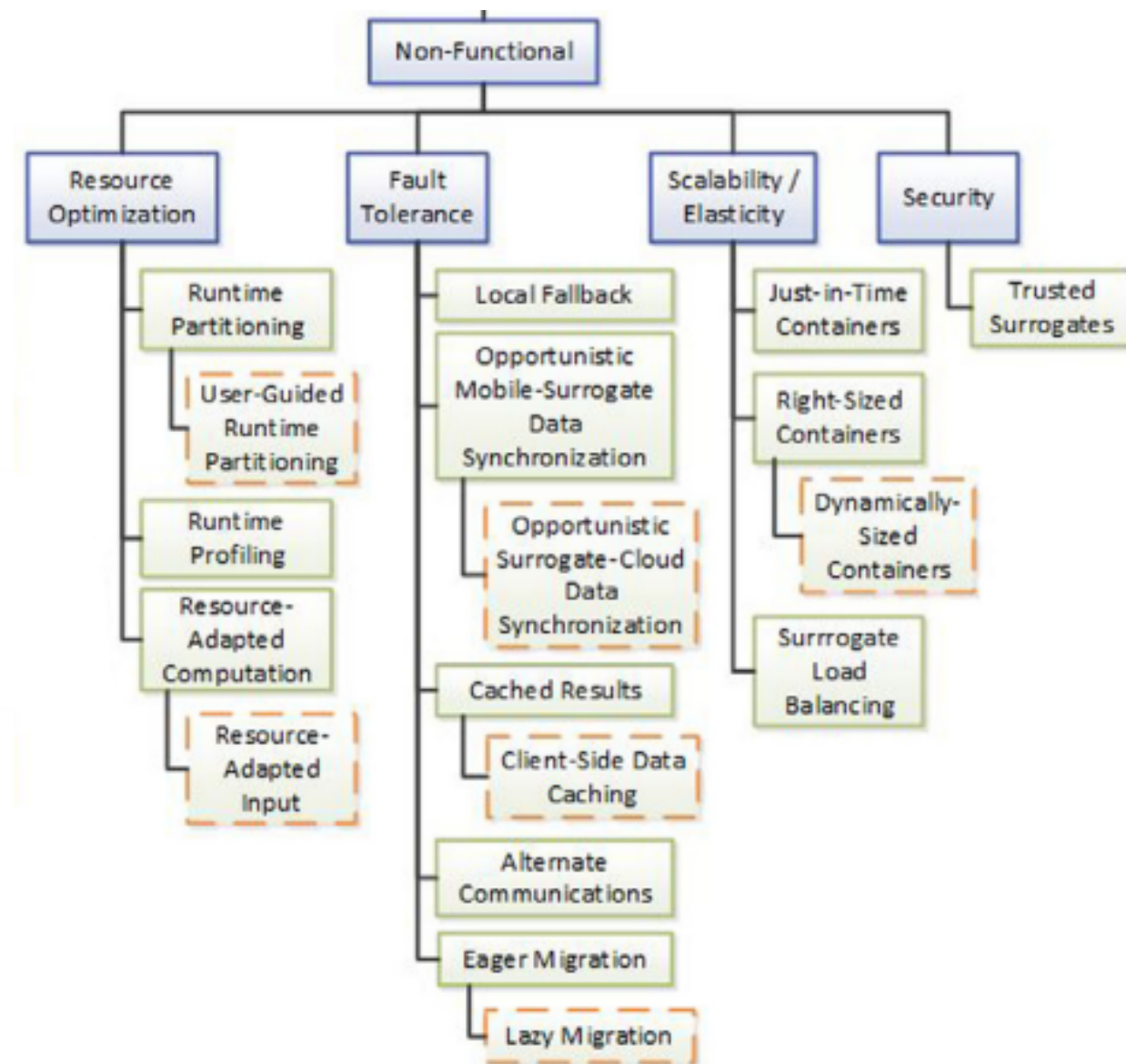
Riguardo **Fault tolerance** si utilizzano meccanismi di caching su ogni layer della struttura.

Invece, gli aspetti lasciati in sospeso sono

- **Resource optimization**
- **Scalability/Elasticity**
- **Security**

Questi infatti sono trattati nel paragrafo finale del paper come possibili sviluppi della ricerca.

Non è possibile individuare una tattica ad essi associata.



Possibili miglioramenti

Security: trusted surrogates

In un contesto realistico è impossibile assumere che tutti dispositivi siano trusted, è necessaria l'autenticazione.

- Realizzare **mutual authentication** tra i vari device
- Oppure, usare un **certification authority**

Inoltre, alcuni dati potrebbero esser sensibili, salvarli nelle cache potrebbe esporli a pericoli.

- Utilizzo di **tecniche di cifratura** sui dati nella cache

Questi miglioramenti aggiungerebbero complessità al sistema, quindi un calo di prestazione da quantificare.

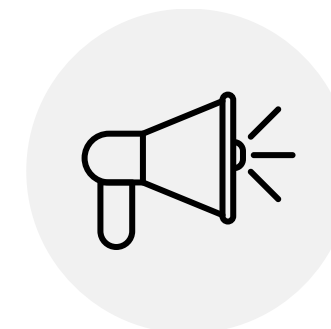
Conclusioni



La soluzione proposta risulta esser efficace , al passo con il paradigma attuale di continuum computing.



Alcuni degli aspetti tralasciati andrebbero maggiormente approfonditi per validare ulteriormente i risultati ottenuti.



ICN e Edge computing si sono rivelate tecniche promettenti per ridurre latenza e migliorare prestazioni nelle reti 5G.

28

Grazie!

Ci sono domande?