**Diapositiva 1: Titolo**

Questa presentazione si basa su uno studio approfondito che ho condotto riguardo i benefici dell’Edge Computing nelle applicazioni IoT che richiedono bassa latenza. Lo studio analizza sia gli aspetti teorici che quelli pratici, includendo casi studio concreti.

**Diapositiva 2: Indice**

Questa presentazione si svilupperà in sei sezioni principali:

* Introduzione all’Internet of Things (IoT)
* I limiti del Cloud Computing tradizionale
* L’emergere dell’Edge Computing
* Le principali architetture di Edge Computing
* Alcuni casi studio che provano l’efficacia di questo nuovo paradigma di calcolo
* Le sfide aperte nella ricerca

L’obiettivo è fornire una panoramica chiara del perché l’Edge Computing stia diventando una tecnologia fondamentale per il futuro dell’IoT.

**Diapositiva 3: Internet of Things**

L’IoT rappresenta una delle più grandi rivoluzioni digitali degli ultimi anni. Miliardi di dispositivi connessi tra loro: sensori industriali, wearable, sistemi di sorveglianza, automobili autonome, elettrodomestici smart. Si prevede che entro il 2025 avremo più di 75 miliardi di dispositivi IoT attivi.

Questi dispositivi interconnessi possono assumere il ruolo di sensori, capaci di percepire l’ambiente circostante ed effettuare misurazioni, o attuatori, in grado di agire fisicamente sull’ambiente. I dati generati dai sensori vengono aggregati tramite dispositivi appositi chiamati “gateway”, posizionati vicino ai sensori e attuatori. I vari gateway si occupano poi di instradare tali dati al “cloud” che si occuperà dell’elaborazione degli stessi. La risposta post processo del cloud viene ritornata agli attuatori che agiscono sull’ambiente conseguentemente.

Questo scenario, tuttavia, presenta un problema: tutti questi dispositivi generano una mole enorme di dati, che, per alcuni casi d’uso, devono essere elaborati in tempo reale per essere utili. Questo ci porta al primo grande limite dell’infrastruttura cloud tradizionale.

**Diapositiva 4: Limiti del Cloud Computing**

Il Cloud Computing è stato per anni la soluzione principale per l’elaborazione dei dati, ma oggi sta mostrando i suoi limiti:

* **Vincoli di banda**: l’invio di enormi quantità di dati ai server cloud può causare congestione della rete.
* **Latenza**: la distanza fisica dai data center introduce ritardi inaccettabili per applicazioni critiche come i veicoli autonomi o la telemedicina.
* **Inefficienza energetica**: i dispositivi IoT spesso hanno batterie limitate e non possono permettersi di trasmettere dati continuamente.
* **Sicurezza e privacy**: i dati sensibili trasmessi ai server cloud possono essere intercettati o compromessi.

Tutte queste problematiche hanno portato alla nascita dell’Edge Computing.

**Diapositiva 5: L’emergere dell’Edge Computing**

Edge Computing significa spostare l’elaborazione dei dati più vicino alla loro sorgente, riducendo la dipendenza dai server centralizzati. Per esempio, invece di inviare continuamente dati da una telecamera di sorveglianza al cloud per l’analisi, l’Edge Computing permette di elaborare i dati direttamente nel dispositivo o nel nodo di rete più vicino.

Questo nuovo approccio all’elaborazione dei dati presenta diversi punti di forza, tra cui:

* Latenza ridotta, perché i dati non devono viaggiare fino al cloud e ritorno. La latenza, infatti, è fortemente influenzata dalla distanza fisica tra il nodo della rete e il data center in cui i dati vengono processati, riducendo questa distanza è possibile ridurre notevolmente la latenza.
* Risparmio di banda, grazie alla trasmissione dei soli dati essenziali. Grazie ad una computazione “locale” è possibile ridurre notevolmente la mole di dati da inoltrare ad un cloud remoto, riducendo quindi il carico e la congestione della rete stessa.
* Maggiore sicurezza, poiché i dati sensibili possono essere elaborati localmente.
* Migliore efficienza energetica, riducendo il consumo di batteria dei dispositivi.

L’Edge Computing trova la sua applicazione in tutte quei casi d’uso dove la minima latenza è fondamentale per garantire il corretto funzionamento della rete IoT. Tra queste applicazioni troviamo: sistemi healthcare, video sorveglianza, monitoraggio di situazioni ambientali critiche.

**Diapositiva 6: Paradigmi di elaborazione**

Oltre alla classica elaborazione centralizzata su cloud, esistono diverse architetture studiate nel corso degli anni per implementare l’Edge Computing, tra queste:

* Fog Computing: elaborazione distribuita su nodi della rete (come ad esempio router).
* Cloudlet Computing: piccoli data center locali vicino agli utenti.
* Mobile Edge Computing (MEC): elaborazione ai margini delle reti mobili.
* Mobile Ad Hoc Cloud: uso dinamico di dispositivi mobili vicini per l’elaborazione.
* Hybrid Computing: un mix tra cloud e edge computing per il miglior compromesso.

**Diapositiva 7: Mobile Edge Computing (MEC) - architettura**

In questa diapositiva vediamo rappresentata l'architettura di un sistema Mobile Edge Computing (MEC), ideata principalmente a supporto delle reti mobili. Il tradizionale cloud computing viene scomposto su due livelli:

* **Livello 2 (Layer 2)**: Al livello inferiore troviamo i server MEC, che sono posizionati vicino alle stazioni base per ridurre la latenza e aumentare l'efficienza. Questi server elaborano i dati localmente, evitando la necessità di inviarli al cloud centrale, il che porta notevoli vantaggi, come una maggiore velocità di risposta e un minor carico sulla rete.
* **Livello 1 (Layer 1)**: Il sistema include anche un server di backup centrale e risorse computazionali per supportare attività più intensive che non possono essere gestite direttamente dai server MEC.

La parte inferiore dello schema rappresenta la rete di base, composta da dispositivi mobili come smartphone, tablet, computer portatili e altri dispositivi IoT. Questi dispositivi si connettono a stazioni base che fungono da ponte tra i dispositivi e i server MEC. Durante la loro mobilità, i dispositivi scelgono di delegare la computazione al MEC server più conveniente tenendo in considerazione gli eventuali costi da sostenere in termini di consumo di energia e tempo di esecuzione. Anche i server MEC cercano di bilanciare il carico delle richieste e le risorse disponibili. Questi due problemi di ottimizzazione sono stati risolti dagli autori attraverso un approccio appartenente alla teoria del gioco che, unito alla struttura del cloud a due livelli, si è rivelata molto promettente, anche in situazioni di notevole carico.

La gestione della mobilità rende questo approccio particolarmente promettente per gestire reti di veicoli autonomi o altre reti mobili.

**Diapositiva 8: Mobile Edge Computing (MEC) - risultati**

Questa slide evidenzia i risultati ottenuti tramite l’architettura MEC, in termini di consumo energetico e la riduzione della latenza media durante l'esecuzione di alcuni task da parte dei dispositivi coinvolti.

Il primo grafico si concentra sullo studio del consumo energetico analizzando diverse strategie di offloading del calcolo, in particolare sono state considerate quattro architetture:

* Nessun offloading: computazione gestita dal dispositivo.
* Graph-matching-based offloading: strategia alternativa a quella trattata nel paper dove i dispositivi e i server MEC vengono trattati come nodi di un grafo e l’obiettivo è quello di calcolare il percorso minimo tra un nodo di rete e il server MEC per ottimizzare i costi e ridurre la latenza.
* La strategia di offloading proposta con e senza supporto del server di backup centrale.

Il grafico mette a paragone il consumo energetico con il numero di dispositivi che formano la rete. Attraverso il grafico si può notare come la strategia proposta con server di backup (arancione) ottiene i migliori risultati, con il consumo energetico più basso, grazie a un'elaborazione efficiente e al supporto del server di backup. Al contrario, l'assenza di offloading (verde) risulta essere la più dispendiosa in termini energetici, poiché tutti i compiti vengono gestiti dai dispositivi stessi senza aiuto dai server MEC. In particolare, la strategia basata sul graph-matching-based offloading risulta essere meno efficace della soluzione proposta dagli autori poiché tale soluzione considera le risorse di calcolo e comunicazione disponibili solamente nella locazione corrente dei dispositivi, senza considerare gli eventuali server MEC fuori raggio ma raggiungibili a mano a mano che il dispositivo si muove.

Questi risultati rendono il modello MEC, specialmente quando supportato da un server di backup, estremamente efficace nel ridurre il consumo di energia, rendendolo una soluzione ideale per applicazioni IoT ad alta intensità.

Il secondo grafico analizza invece come la velocità dei dispositivi mobili influisca sulla riduzione della latenza media dei task. Qui si confrontano tre scenari: 100, 150 e 200 dispositivi connessi.

La riduzione della latenza media è più significativa a velocità inferiori (60-100 km/h), poiché le connessioni rimangono più stabili durante il trasferimento dei task verso i server MEC.

Con l'aumentare della velocità dei dispositivi (oltre i 100 km/h), la riduzione della latenza diminuisce leggermente, ma rimane comunque rilevante, grazie alla gestione efficace della mobilità da parte dell'architettura MEC.

Il sistema MEC gestisce meglio la latenza quando il numero di dispositivi è minore (100 dispositivi rispetto a 200), evidenziando la necessità di bilanciare il carico.

Questi risultati dimostrano chiaramente che l'architettura MEC proposta non solo riduce il consumo energetico, ma migliora anche la gestione della latenza, anche in condizioni più o meno critiche di mobilità. Questi vantaggi la rendono una soluzione ideale per supportare applicazioni IoT ad alta densità e in contesti dinamici, come veicoli connessi o smart cities.

\*\*Diapositiva 9-10: Studio sul Gaming Mobile\*\*

\_Uno dei settori che ha beneficiato maggiormente dell’Edge Computing è il gaming.\_

Un esperimento con la piattaforma GamingAnywhere ha confrontato diverse configurazioni:

- Server cloud tradizionale: alta latenza e scarsa esperienza utente.

- Server edge: risposta immediata e qualità video migliorata.

Risultato? \*\*Il MEC ha permesso di giocare in alta definizione con latenze sotto i 70 ms\*\*, migliorando drasticamente l’esperienza di gioco.

---

\*\*Diapositiva 11-13: Studio sull’Industria Manifatturiera\*\*

\_La produzione industriale è un altro settore chiave per l’Edge Computing.\_

Un caso studio su una linea di confezionamento ha dimostrato che l’uso dell’Edge Computing ha:

- Ridotto del \*\*60%\*\* il traffico di rete.

- Migliorato la gestione degli ordini e la manutenzione predittiva.

- Permesso un’analisi avanzata dei dati direttamente nei nodi edge.

L’integrazione con il cloud consente comunque di sfruttare l’analisi dei big data per migliorare le strategie produttive nel lungo periodo.

---

\*\*Diapositiva 15: Sfide Aperte\*\*

\_L’Edge Computing presenta ancora alcune sfide:\_

1. \*\*Standardizzazione\*\*: servono modelli comuni per dispositivi eterogenei.

2. \*\*Gestione delle risorse\*\*: bilanciare energia e prestazioni.

3. \*\*Sicurezza\*\*: protezione dei dati sensibili.

4. \*\*Affidabilità\*\*: garantire continuità di servizio in ambienti dinamici.