

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale

Data Center: Impatto, Criticità e Prospettive per il Sistema Elettrico Italiano

Tutor universitario:
Prof. Roberto Benato

Laureando:
Alex Battistuzzi

Padova, A.A. 2025/2026

1. Un fenomeno nuovo.

Cloud, digitalizzazione e intelligenza artificiale spingono per un incremento senza precedenti della domanda di potenza.

2. Il caso italiano.

L'evoluzione interessa in modo concreto l'Italia, con un occhio di riguardo per la zona di Milano e della Lombardia

3. L'obiettivo del lavoro.

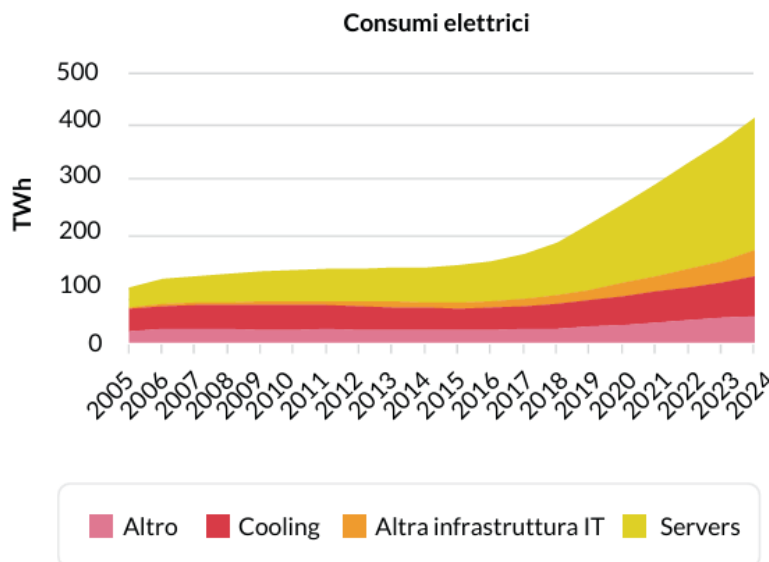
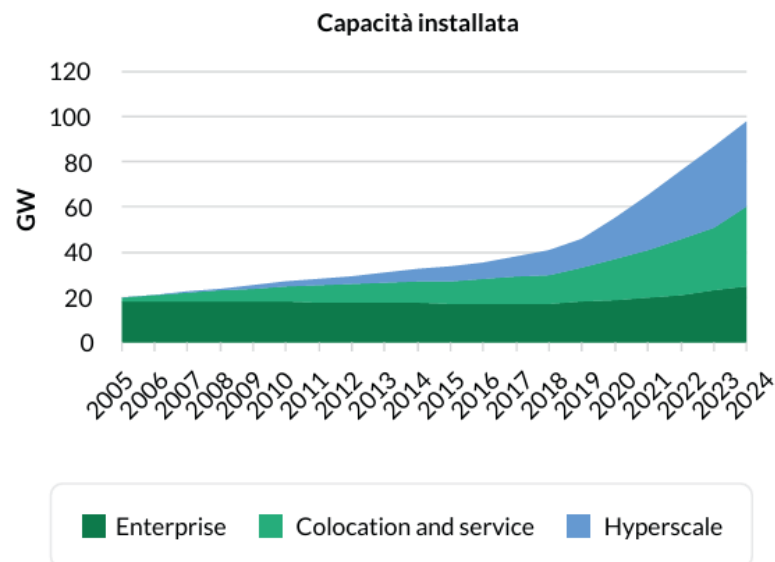
Fornire un quadro organico e aggiornato dell'impatto dei data center sulla rete elettrica.

4. Le soluzioni analizzate.

Dai requisiti tecnici di connessione, alla pianificazione della rete, fino al data center come risorsa flessibile.



-Capacità installata e consumi elettrici dei data center a livello mondiale



~ 100 GW

capacità installata



415 TWh

consumati nel 2024

945 TWh

attesi entro il 2030

→ **Stati Uniti e Cina guidano la crescita del settore.**

Consumi stimati pari a 233 TWh per gli USA e 129 TWh per la Cina

→ **In Europa il consumo è più contenuto: circa 50 TWh.**

Concentrati in hub come Francoforte, Amsterdam, Londra, Parigi e Milano.

IL CASO ITALIANO: CRESCITA E CONCENTRAZIONE GEOGRAFICA

RICHIESTE DI CONNESSIONE

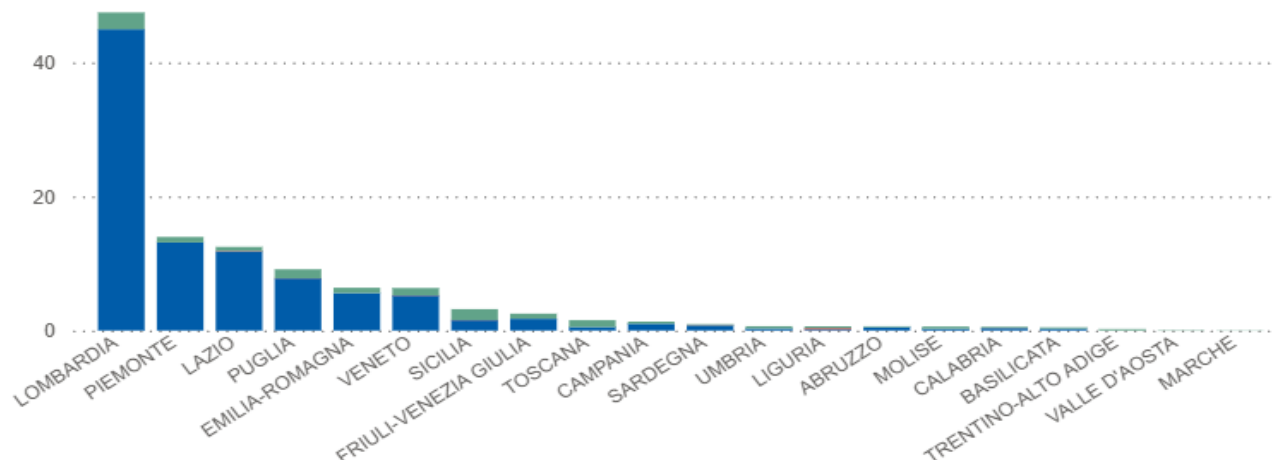
30→100 GW → **90%** → **44 GW**
richieste a Terna, 2024–2026 nella zona Nord solo in Lombardia

CAPACITÀ INSTALLATA

513 MW→4,9 GW → **21,6 TWh**
capacità reale stimata, 2024–2030 consumo stimato al 2030

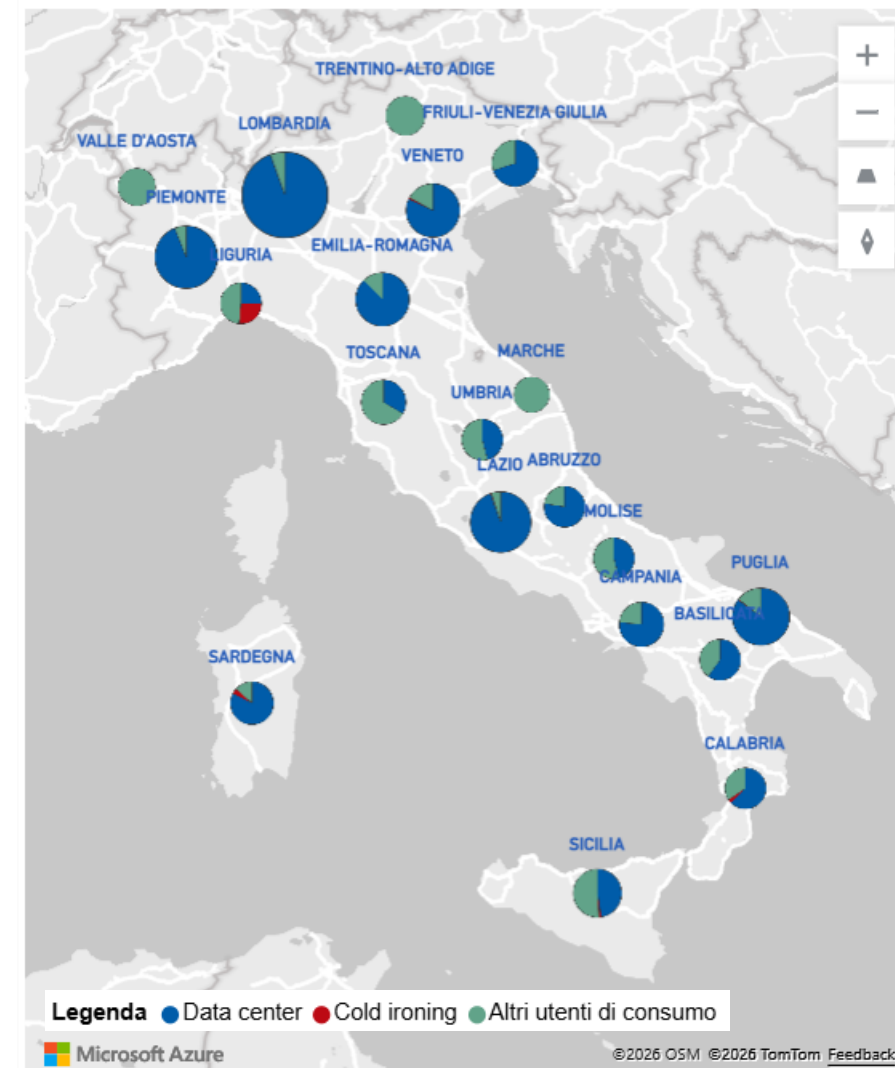
Richieste per Regione

Richieste di Connessione AAT/AT per fonte (GW) e regione



Distribuzione Territoriale

Richieste di Connessione AAT/AT per fonte (GW) e regione



TIPOLOGIE DI DATA CENTER

Enterprise

uso interno, taglie piccole

Colocation

responsabilità condivisa, in forte crescita

Hyperscale

oltre 50 MW, gestiti dai big del cloud

CARICHI IT —→ *la natura del carico ne determina il profilo, i requisiti infrastrutturali e il potenziale di flessibilità*

Addestramento AI

carico continuo e sostenuto, soggetto a rapide fluttuazioni

Batch / analytics

attività pianificate vincolate a una scadenza

Backup e disaster recovery

bassa utilizzazione, scala al pieno carico in emergenza

Inferenza AI

domanda guidata dagli utenti, proiettata a diventare il carico AI dominante nel 2030

Web / SaaS / CDN

carico diurno, guidato dagli utenti

Transazionale / real-time

carico costante e prevedibile, requisiti di disponibilità stringenti

RISCHI IN ESERCIZIO NORMALE

1. Disturbi guidati dal carico

I carichi legati all'intelligenza artificiale possono generare rapide fluttuazioni di carico nell'arco di millisecondi, che si manifestano come eventi frequenti e imprevedibili.

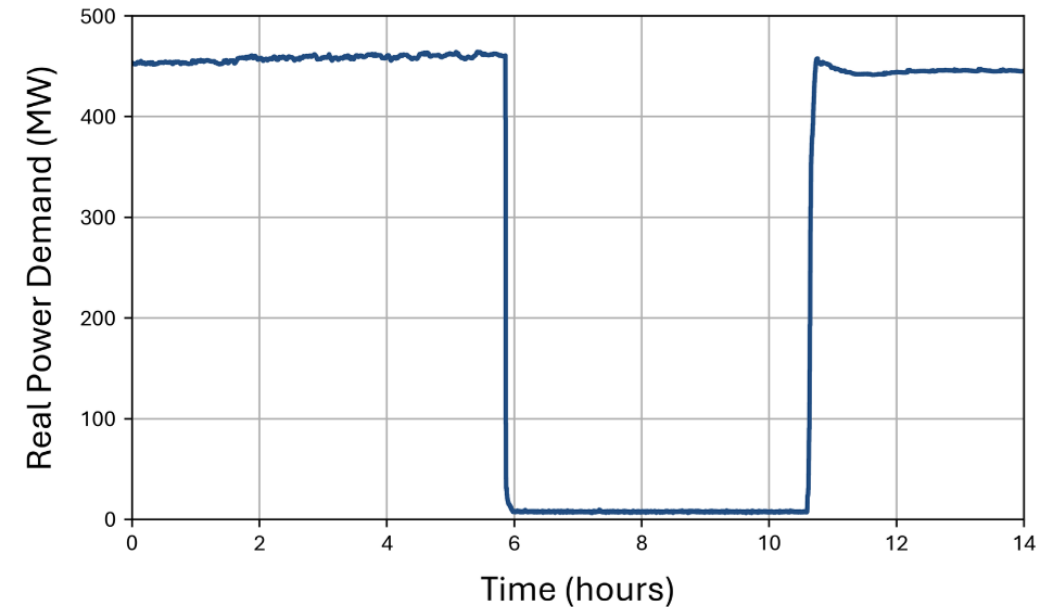
→ *Possono generare variazioni di tensione e di frequenza.*

2. Oscillazioni forzate indotte dal carico

Pattern di carico periodici e persistenti, come quelli tipici dell'addestramento di modelli AI, possono eccitare i modi elettromeccanici del sistema a frequenze prossime a quelle delle oscillazioni inter-area.

→ *Rischiano di generare fenomeni di risonanza e oscillazioni non smorzate.*

-Potenza attiva richiesta da un data center nordamericano



RISCHI DURANTE I DISTURBI DI RETE

DURANTE IL GUASTO

Fault Ride-Through (FRT)

L'elettronica di potenza degli UPS può commutare sull'alimentazione a batteria al primo segnale di abbassamento della tensione

→ *perdite di carico improvvise.*



DOPO IL GUASTO

Riconnessione

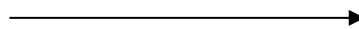
Le pratiche di ripristino non sono standardizzate: alcuni siti si riconnettono quasi istantaneamente, altri restano in isola per diversi secondi.

→ *un nuovo shock di domanda o squilibrio prolungato.*

PERCHÉ ACCADE ?

Elettronica di potenza

elevata presenza di UPS, alimentatori server, convertitori, causa il distacco pressoché istantaneo in caso di instabilità di rete



rende il carico visto dalla rete non lineare, causando:

- rapide variazioni della potenza assorbita
- oscillazioni di tensione al punto di connessione
- transitori durante il passaggio tra le modalità operative dell'UPS
- generazione di armoniche

REQUISITI DI CONNESSIONE

→ Fault Ride-Through (FRT)

restare connessi durante gli abbassamenti di tensione, evitando perdite di carico a cascata

→ Controllo dei ramp rate

limitare la velocità delle variazioni di carico entro i tempi di risposta della rete

→ Smorzamento delle oscillazioni

l'elettronica di potenza deve sopprimere, non eccitare, le frequenze naturali di rete

→ Monitoraggio basato su PMU

misure sincronizzate per rilevare i disturbi dinamici in tempo reale

→ Tolleranza al RoCoF

UPS e protezioni devono tollerare rapide oscillazioni del tasso di variazione della frequenza senza scatti intempestivi

→ Controllo di tensione e potenza reattiva

regolazione al punto di connessione della potenza reattiva per evitare problemi di tensione localizzati

→ Requisiti sui sistemi di protezione

prestazioni e margini definiti, per un coordinamento efficace con la protezione complessiva della rete

→ Studio preventivo di impatto sulla rete

valutazione completa prima di ogni nuova connessione

PIANIFICAZIONE DELLA RETE E DELLA GENERAZIONE

Il sistema deve disporre di risorse di generazione adeguate e decarbonizzate, nonché di capacità di trasmissione sufficiente per portare l'energia fino al punto di consumo.

Il tempo di allacciamento è la vera sfida:



Trasparenza sulla hosting capacity

informazioni pubbliche su capacità
disponibile e tempi di allaccio



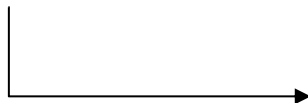
Efficienza ed equità nell'assegnazione

dalle code aperte a meccanismi che
premiano i progetti più maturi



Accordi di connessione flessibili

capacità firm limitata riducibile nei
periodi critici per il sistema



In Italia: Terna si è già mossa in questa direzione
introducendo il portale TE.R.R.A.

IL DATA CENTER COME RISORSA FLESSIBILE

I data center dispongono di risorse tecniche che, se opportunamente gestite, possono trasformarli da carico passivo a risorsa attiva per la rete.

Ambito IT

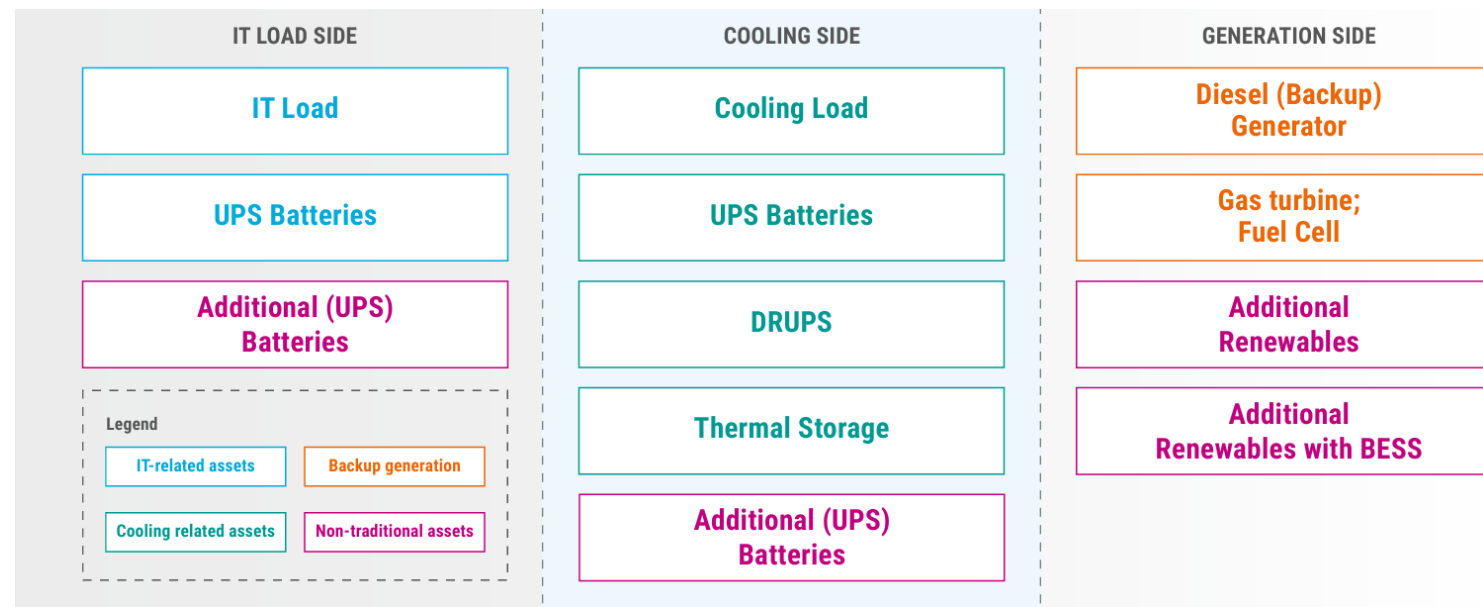
sovradimensionamento UPS e carichi batch/AI rimodulabili, per servizi di rete di breve durata

Raffreddamento

inerzia termica di minuti/ore, consente di ridurre o spostare il carico senza impatti sulle operazioni IT

Generazione on-site

batterie aggiuntive e rinnovabili, per capacità dispacciabile aggiuntiva

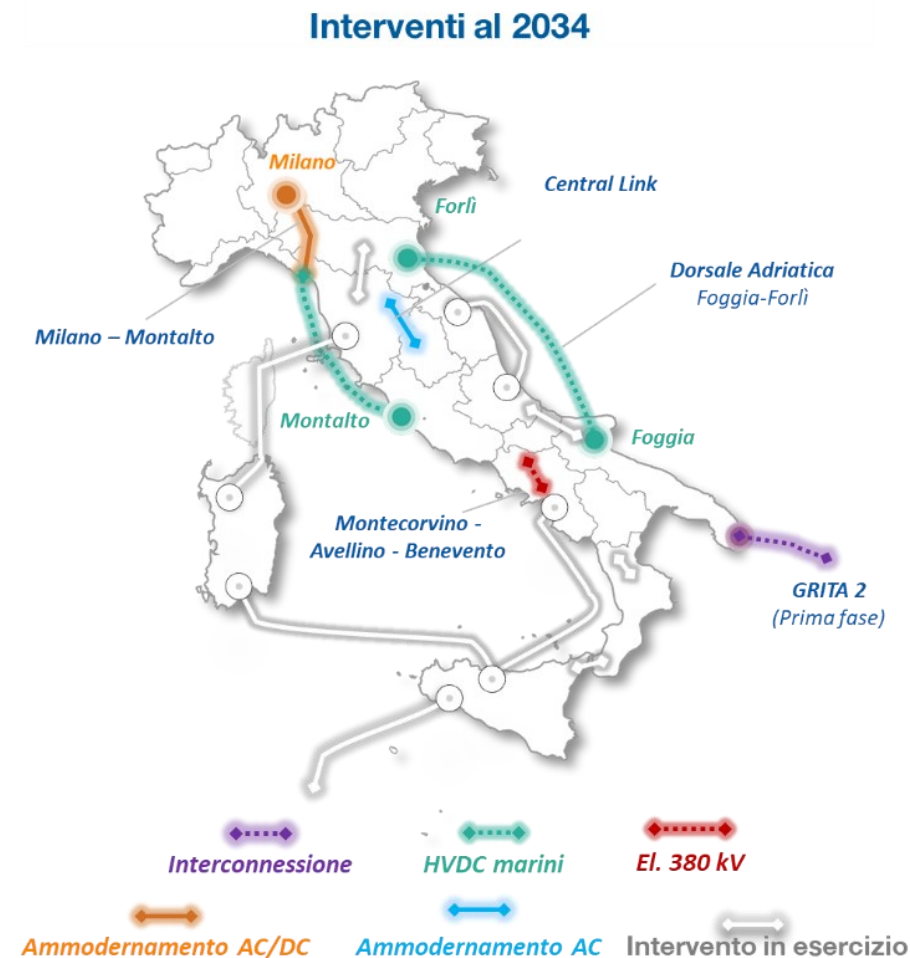


PROSPETTIVE PER IL SISTEMA ITALIANO

Il sistema elettrico italiano sta attraversando una fase di transizione critica: le richieste di connessione hanno superato gli 80 GW nella prima metà del 2026, concentrate per due terzi nell'area di Milano.

→ **Pianificazione.** Il Piano di Sviluppo 2025 di Terna prevede oltre 23 miliardi di euro in dieci anni per potenziare gli scambi tra le zone di mercato, e punta a portare le rinnovabili installate da 50 a 65 GW entro il 2030.

→ **Normativa.** Il «decreto bollette» 2026 impone a Terna trasparenza trimestrale sulla capacità di rete e introduce la decadenza automatica delle connessioni prive di titolo autorizzativo.



- **Fenomeno.** L'Italia si trova ad affrontare, con un certo ritardo rispetto ad altri contesti internazionali, una trasformazione strutturale della propria domanda elettrica, per la quale gli strumenti di pianificazione e regolazione tradizionali risultano solo parzialmente adeguati.
- **Dall'analisi effettuata.** Il quadro tecnico invita ad un giudizio articolato. Da un lato l'elettronica di potenza che caratterizza i data center li rende soggetti a comportamenti dinamici difficili da prevedere con i modelli di carico tradizionali, dall'altra proprio quella stessa tecnologia, se opportunamente sfruttata, può trasformare il data center da problema a risorsa.
- **Sviluppi futuri.** Il proseguimento degli interventi di pianificazione, regolazione e innovazione tecnologica, sommati allo sviluppo di analisi quantitative, volte a valutare la stabilità del sistema elettrico in scenari di elevata penetrazione di data center, appaiono imprescindibili per accompagnare questa transizione senza compromettere la sicurezza elettrica della penisola.