

DaTa is Power

L'energia diventa
consapevolezza per le persone



In collaborazione con





Indice

1	Introduzione	3
2	Background	5
2.1	NILM: le due alternative per la disaggregazione	5
2.2	Perché il contatore 2G cambia tutto	6
2.3	TaDa e MAC: due tecnologie per un'unica soluzione	7
3	L'impronta energetica degli elettrodomestici	9
3.1	Come consumano gli elettrodomestici?	9
3.2	Dal singolo elettrodomestico all'intera casa e viceversa	10
3.3	Ma quanto è facile riconoscere un elettrodomestico?	11
4	I dati che abilitano la disaggregazione	13
4.1	Dati pubblici	13
4.2	Dati proprietari	14
5	Disaggregazione dei consumi	16
5.1	Cosa disaggregiamo oggi	16
5.2	Come funziona il modello	17
5.3	Dalla previsione grezza al risultato affidabile	19
5.4	Risultati	20
6	Use Case	22
6.1	Consulente per la casa	22
6.2	Manutenzione predittiva degli elettrodomestici	23
6.2.1	Gli elettrodomestici invecchiano in silenzio	23
6.2.2	L'impronta energetica come indicatore di salute	24
6.3	E-Health: autonomia e sicurezza nelle abitazioni	24
6.4	Flessibilità dei consumi	25
6.4.1	Dalla consapevolezza alla flessibilità	25
6.4.2	Due flessibilità, non una	26
6.4.3	Il quadro regolatorio italiano	26
6.4.4	Il livello di TaDa nella catena del valore	26
6.4.5	Capacità modulabile per cliente	27
7	Riferimenti	29

1

Introduzione

Usare l'elettricità è come fare la spesa in un supermercato dove nessun prodotto ha il prezzo e il cliente riceve un saldo mensile calcolato con un prezzo aggregato e una sola voce: "cibo". Non sa come ha consumato, quando o con quali elettrodomestici oppure se il suo consumo è relativamente alto o basso.[1]

Come potrebbe cambiare le sue abitudini, se non sa nemmeno quali sono?

La consapevolezza energetica degli edifici domestici è una delle leve più importanti che abbiamo a disposizione per combattere il cambiamento climatico.

In numeri. Il settore degli edifici e delle costruzioni costituisce il **32% della domanda** energetica globale e contribuisce al **34% delle emissioni globali** di CO₂, con emissioni operative che hanno raggiunto **10 Gt nel 2023**, in crescita del 5% rispetto al 2015, nonostante gli impegni climatici internazionali [2].

Sfortunatamente, troppo spesso la conversazione sul come portare le persone a ridurre i propri consumi diventa infruttuosa e divisiva nei confronti delle abitudini di famiglie e individui che avrebbero in realtà tutto l'interesse a utilizzare meglio la casa e gli elettrodomestici.

Cosa vuol dire "utilizzare meglio" l'energia? Consumare meno è sempre preferibile?

Saremmo tentati di saltare alla conclusione e rispondere in maniera affermativa: a consumo minore corrispondono bollette più leggere, minori emissioni, meno picchi di carico sulla rete elettrica; ma ignoreremmo così la vasta complessità rappresentata dall'insieme di tutti i comportamenti — di tutti gli esseri umani — nel loro modo di utilizzare l'energia elettrica. Alcune persone potrebbero trovarsi in grande difficoltà a cambiare le proprie abitudini di consumo, per via dei propri orari di lavoro, vincoli, routine. Altre persone vorrebbero invece consumare diversamente, ad esempio spostando il proprio consumo in un momento in cui l'energia costa meno, grazie a tariffe differenziate per fasce orarie o attraverso strutture di incentivi per consumare durante periodi in cui l'elettricità è meno costosa.

Come si può incentivare il cambiamento delle abitudini di consumo energetico?

È stato dimostrato [3] che le persone sono particolarmente ricettive al feedback sui consumi elettrici, specialmente se questo feedback:

- È veritiero, cioè basato sugli effettivi consumi della casa anziché stimati con delle euristiche.

- Viene aggiornato frequentemente, così che le persone possano vedere gli effetti delle loro attività recenti.
- Risulta piacevole nel design e viene presentato con linguaggio semplice e chiaro.
- È granulare sul consumo del singolo elettrodomestico.
- Coinvolge attivamente gli utenti.
- È confrontabile su aggregati storici di lungo periodo (consumi del mese corrente vs. mese precedente e simili comparazioni).

Con queste informazioni **gli utenti arrivano a consumare anche il 15% in meno** [4].

La conoscenza delle abitudini di consumo aiuta inoltre le utility a segmentare gli utenti, offrire servizi personalizzati, ottenere una previsione migliore delle previsioni di consumo e facilita l'implementazione di strategie di demand response.

LO SCOPO DI QUESTO WHITE PAPER

Vogliamo presentare come TaDa trasforma le informazioni messe a disposizione dai contatori elettrici smart — in Italia di facile accesso grazie al protocollo open Chain2 — in conoscenza e consapevolezza per gli utenti domestici, offrendo loro strumenti per comprendere meglio i propri consumi. A rendere accessibili questi dati è il dispositivo hardware di MAC, che legge le trame Chain2 prodotte dai contatori di seconda generazione (2G) e le mette a disposizione di TaDa.

Basandosi esclusivamente sul contatore, l'approccio di TaDa raggiunge una platea di possibili destinatari estremamente ampia.

Quanto ampia? In Italia sono già installati oltre **35 milioni di contatori** di seconda generazione (2G), con copertura prevista al 100% entro il 2026 [5]. Lo stesso processo è in corso in tutta l'Unione Europea, dove le direttive sull'efficienza energetica impongono il rollout dei sistemi di misurazione intelligente: un mercato potenziale di **centinaia di milioni di utenze**.

2

Background

Uno degli aspetti più difficili della costruzione di un feedback efficace verso l'utente finale è la disaggregazione nei singoli elettrodomestici del consumo energetico aggregato di una casa [6]. La disaggregazione dei consumi domestici nei singoli elettrodomestici è un problema aperto da decenni. Esistono due famiglie classiche di approcci, con caratteristiche molto diverse e un compromesso che è sempre parso ineludibile: o la granularità del dato, o la scalabilità della soluzione. Come vedremo, l'infrastruttura dei contatori smart permette di superare questo compromesso, abilitando una via intermedia che consente di raccogliere dati ad una buona risoluzione senza richiedere alcun hardware aggiuntivo nel quadro elettrico.

2.1 NILM: le due alternative per la disaggregazione

In ambito accademico, il problema della disaggregazione è noto come Non-Intrusive Load Monitoring (NILM). Le tecniche di disaggregazione si dividono in due famiglie:

	Soft NILM	Hard NILM
Frequenza campionamento	Bassa (ogni 15 min o più)	Alta (secondi o meno)
Granularità feedback	Mensile / bimestrale	Puntuale, evento per evento
Hardware richiesto	Nessuno	Pinza amperometrica o smart meter dedicato
Elettrodomestici identificabili	Pochi, solo grandi consumatori sempre accesi	Molti, inclusi quelli ad uso discontinuo

Tabella 1. Confronto tra approcci soft e hard NILM

Il **soft NILM** ha il grande vantaggio di essere estremamente accessibile: non richiede l'installazione di nessun dispositivo utente, e si basa sui dati di consumo aggregati inviati a bassa frequenza dagli smart meter (tipicamente ogni 15 minuti). Per affinare le stime, spesso il fornitore del servizio chiede di rispondere a un questionario sulle caratteristiche dell'abitazione e dei suoi residenti che abilitano tecniche di clustering della user-base [7, 8, 9]. Si tratta tuttavia di approcci in larga parte inferenziali: il dettaglio della disaggregazione viene desunto dai valori attesi per il cluster di appartenenza (numero di abitanti, periodo dell'anno, consumi medi) più che dal dato realmente osservato.

Di contro, il soft NILM non può identificare gli elettrodomestici che sono accesi discontinuamente. Riesce a dare una ripartizione generale del consumo in sezioni di attività ed elettrodomestici che (quando presenti) risultano consumare per una grande porzione di tempo: “riscaldamento/raffrescamento”, “consumo di base/standby”, “frigorifero”. I modelli più avanzati riescono a identificare alcuni grandi elettrodomestici, ma solo fondendoli in un’unica categoria: in NILMFormer [10] di Électricité de France, ad esempio, viene costruita un’unica classe *white appliances* per riferirsi complessivamente alle lavatrici, lavastoviglie ed asciugatrici.

L’**hard NILM**, viceversa, è in grado di disaggregare un numero molto più ampio di elettrodomestici e dispositivi. Ciò è reso possibile da un’elevata frequenza di campionamento di consumo aggregato, ottenuta solitamente per mezzo di pinza amperometrica. Il vantaggio è una disaggregazione più accurata e granulare, che può essere fornita all’utente molto più frequentemente. Il prezzo di questa granularità è però l’hardware dedicato da installare nel quadro elettrico, con costi e barriere che ne hanno finora impedito la diffusione su larga scala.

OLTRE LA DICOTOMIA SOFT/HARD

Le due famiglie sembrano imporre una scelta netta: la scalabilità del soft NILM, ma senza la granularità necessaria a incidere sulle abitudini; oppure la granularità dell’hard NILM, ma senza possibilità di scalare, per via dell’hardware costoso e invasivo che richiede. TaDa nasce dal superamento di questa dicotomia: sfruttando i dati che gli smart meter (come il contatore 2G diffuso in Italia) già producono, cattura le informazioni di dettaglio che il soft NILM non vede, senza imporre l’hardware che ha finora impedito all’hard NILM di diffondersi su larga scala.

2.2 Perché il contatore 2G cambia tutto

Il contatore 2G, già ampiamente diffuso nelle case italiane, rende possibile superare la dicotomia tra soft e hard NILM, conservando i vantaggi di entrambi. Affiancandogli un Dispositivo Utente (DU) poco invasivo si ottengono infatti dati di consumo in modo “intelligente”: la frequenza di campionamento aumenta a ogni evento di consumo significativo e si dirada quando i consumi restano stabili.

	Pinza amperometrica	Contatore 2G + DU
Installazione	Elettricista certificato, €150–400	Solo DU, nessun intervento sull’impianto
Normativa	Soggetta a normative sugli impianti	Nessun requisito aggiuntivo
Fonte del dato	Sensore aggiuntivo	Contatore già certificato dal distributore
Corrispondenza con la bolletta	Può discostarsi	Sì, è lo stesso dato fatturato

Tabella 2. Confronto tra pinza amperometrica e contatore 2G + DU



(a) Pinza amperometrica su quadro elettrico



(b) Contatore 2G e dispositivo utente MAC CHAIN2GATE

Figura 1. Soluzioni NILM a confronto

Questo è reso possibile dal fatto che il contatore 2G, già installato e certificato, **abilita automaticamente la produzione dei dati di consumo tramite il protocollo Chain2**, uno standard aperto definito da CEI e ARERA e certificato dal distributore per la trasmissione locale delle trame di misura verso DU abilitati. Ne derivano vantaggi sostanziali. Il dato del contatore 2G è lo stesso che, una volta validato dal distributore, viene usato per il calcolo della bolletta — garanzia di accuratezza e affidabilità intrinseca. La sua granularità, grazie alla trasmissione basata sugli eventi, è sufficiente a eguagliare l'hard NILM in precisione. E l'intera soluzione supera i limiti e i costi di installazione dell'hard NILM: il contatore è già lì, e il DU è un piccolo dispositivo che si aggiunge senza alcun intervento sull'impianto elettrico né personale certificato.

2.3 TaDa e MAC: due tecnologie per un'unica soluzione

Il protocollo Chain2 è alla base della piattaforma hardware CHAIN2GATE ENERGY AWARE, sviluppata da MAC e adottata da TaDa per l'analisi dei dati di consumo elettrico. TaDa raccoglie tali dati attraverso una propria procedura di acquisizione ed elaborazione per la ricostruzione della curva di carico, attualmente in fase di brevettazione, trasformandoli in informazioni facilmente fruibili dall'utente finale.

Chain2 trasmette via power line eventi di consumo e produzione periodicamente (ogni 15') e per ogni variazione significativa (eventi superiori ai ± 300 W), generando una *trama* temporale ricca di informazioni. È proprio questa natura event-based a collocare Chain2 a metà strada tra soft e hard NILM: il dato non è il flusso continuo ad alta frequenza richiesto dall'hard NILM, né il semplice aggregato quartorario del soft, ma una sequenza di eventi che registra ogni transizione di stato significativa degli elettrodomestici, abbastanza ricca da abilitare una disaggregazione granulare, abbastanza leggera da garantire scalabilità.

L'invio basato sulle variazioni consente di ottimizzare le trasmissioni verso il cloud solo per gli eventi significativi, riducendo i costi di gestione dell'infrastruttura. In particolare, rispetto a una telemetria al minuto, l'invio basato sugli eventi riduce di circa un ordine di grandezza il volume di dati trasmessi e archiviati (circa $-80/90\%$ sui costi variabili dell'infrastruttura), pur mantenendo una risoluzione temporale ricca sugli eventi rilevanti.

La soluzione adottata rappresenta una tecnologia trasversale, applicabile a molteplici

contesti: dal residenziale alle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), dall'e-mobility allo street lighting. Attualmente TaDa focalizza l'utilizzo della piattaforma principalmente sul contesto domestico.

APPROFONDIMENTO TECNICO: LE TRAME CHAIN2

I Compact Frame sono trame ottimizzate inviate dal contatore tramite Chain2 (tecnologia ad onde convogliate PLC-C) verso il Dispositivo Utente. I dettagli sono regolati dalle specifiche tecniche CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano). Le principali fra le 33 trame disponibili sono:

- **CF1**: trama misure quartorarie MONOFASE da Open Meter M1.
- **CF21**: evento ATTRAVERSAMENTO SOGLIA POTENZA PRELEVATA da Open Meter M1.
- **CF22**: evento ESUBERO POTENZA DISPONIBILE da Open Meter M1.
- **CF51**: evento ATTRAVERSAMENTO SOGLIA POTENZA PRELEVATA/IMMESSA da Open Meter M1.

L'analisi della morfologia delle trame permette inoltre di inferire caratteristiche dell'impianto: monofase vs. trifase, presenza di produzione fotovoltaica, accumulo, veicoli elettrici in carica.

È proprio su questi dati a granularità intermedia, infatti, che **TaDa applica i propri algoritmi di disaggregazione**, per individuare, partendo dai consumi dell'intera casa, quelli dei singoli elettrodomestici che sono stati usati.

Ma come funziona concretamente questa disaggregazione? Tutto parte da un concetto fondamentale: ogni elettrodomestico consuma in modo diverso, e questa differenza, come approfondiremo nella sezione successiva, è misurabile e riconoscibile.

3

L'impronta energetica degli elettrodomestici

Per disaggregare i consumi di una casa è necessario capire come si comporta elettricamente ciascun dispositivo. **La curva di carico dell'intera casa**, ricostruita a partire dai dati Chain2, rappresenta la potenza assorbita istante per istante, e non è altro che **la somma di ciò che stanno consumando tutti gli elettrodomestici accesi in quel preciso momento**.

PER I LETTORI TECNICI

In forma matematica, la curva di carico aggregata è definita come:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N a_i(t), \quad \forall t \in [0, T] \quad (1)$$

dove $x(t)$ è la potenza totale assorbita dalla casa all'istante t , mentre $a_i(t)$ è quella assorbita dal singolo elettrodomestico i , e N è l'insieme di tutti gli elettrodomestici presenti nell'abitazione.

3.1 Come consumano gli elettrodomestici?

Questa è la domanda che viene spontaneo porsi a questo punto.

Nonostante la grande varietà di dispositivi presenti nelle case, il loro consumo elettrico deriva sempre da un numero limitato di componenti di base, raggruppabili in cinque categorie:

- **Resistenze elettriche:** sono le serpentine del forno o della stufetta. Il loro consumo è costante e non modulabile. In alcuni casi (come nel forno) si accendono e spengono automaticamente per mantenere la temperatura desiderata.
- **Motori elettrici:** muovono il cestello della lavatrice o le pale dell'aspirapolvere. Sono modulabili: più girano veloci, più potenza assorbono.
- **Compressori:** motori speciali che comprimono un gas, usati ad esempio nei frigoriferi e nei condizionatori. Hanno un picco di corrente iniziale ("spunto") poi si stabilizzano.
- **Carichi induttivi:** trasferiscono energia senza contatto fisico sfruttando campi magnetici. È il principio del piano cottura a induzione o della ricarica wireless.

- **Elettronica:** circuiti a basso consumo presenti in quasi tutti i dispositivi moderni (caricatori, luci LED).

Ogni elettrodomestico produce una curva di carico caratteristica e quasi unica: la sua *impronta energetica*, una firma elettrica che lo rende riconoscibile.

Il frigorifero, ad esempio, contiene un compressore che si attiva a intervalli regolari: nella curva di carico si vede chiaramente un picco iniziale all'avvio, poi un consumo costante, e infine il consumo nullo fino al ciclo successivo (Figura 2).

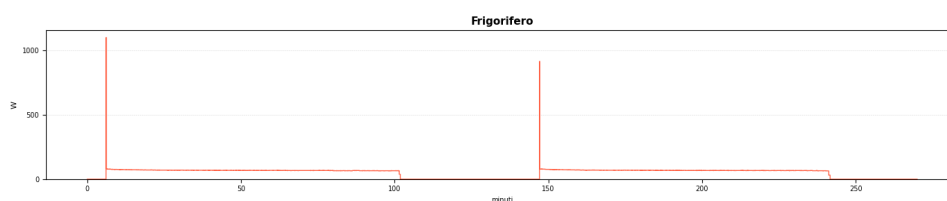


Figura 2. Curva di carico del frigorifero (due cicli di attivazione distinti)

La lavatrice combina più componenti (una resistenza per scaldare l'acqua e un motore per il cestello) e la sua impronta riflette questa complessità (Figura 3).

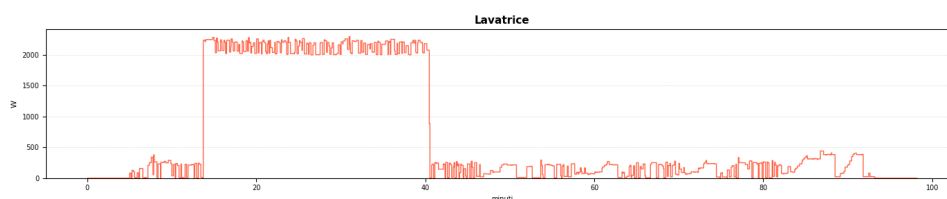


Figura 3. Curva di carico di una lavatrice

Riportiamo in Figura 4 le impronte energetiche di altri elettrodomestici diffusi.

3.2 Dal singolo elettrodomestico all'intera casa e viceversa

La curva di carico aggregata della casa si ottiene sommando, punto per punto nel tempo, le curve di tutti gli elettrodomestici attivi. Se in un dato momento sono accesi il frigorifero, la lavatrice e alcune luci, il consumo totale della casa sarà esattamente la somma dei loro consumi in quell'istante. In Figura 5 mostriamo una curva aggregata ottenuta sommando le curve di 8 dispositivi distinti.

Questo è esattamente il dato che il contatore 2G misura e che Chain2 trasmette: la curva aggregata dell'intera casa, senza distinzione tra un dispositivo e l'altro.

DISAGGREGARE SIGNIFICA FARE L'OPERAZIONE INVERSA

Partendo dalla curva aggregata, ricostruire il contributo di ciascun elettrodomestico arrivando a sapere che in un dato momento era la lavatrice a consumare 1800 W, il frigorifero 80 W, le luci 40 W. È un problema matematicamente complesso, reso possibile proprio dal fatto che ogni dispositivo ha un'impronta energetica caratteristica e riconoscibile.

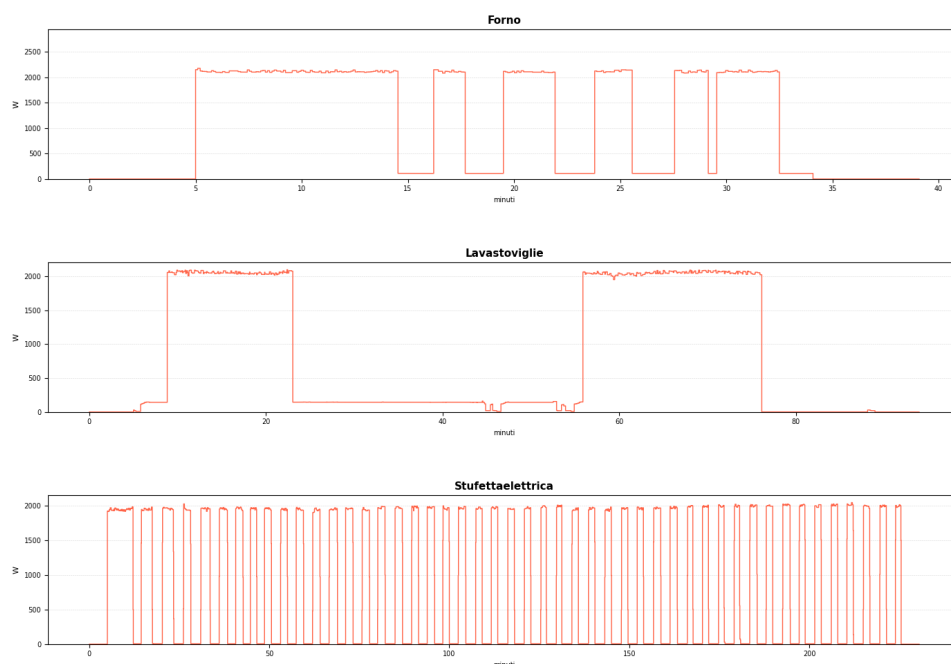


Figura 4. Curve di carico di diversi elettrodomestici. Dall'alto in basso: Forno, Lavastoviglie, Stufetta elettrica

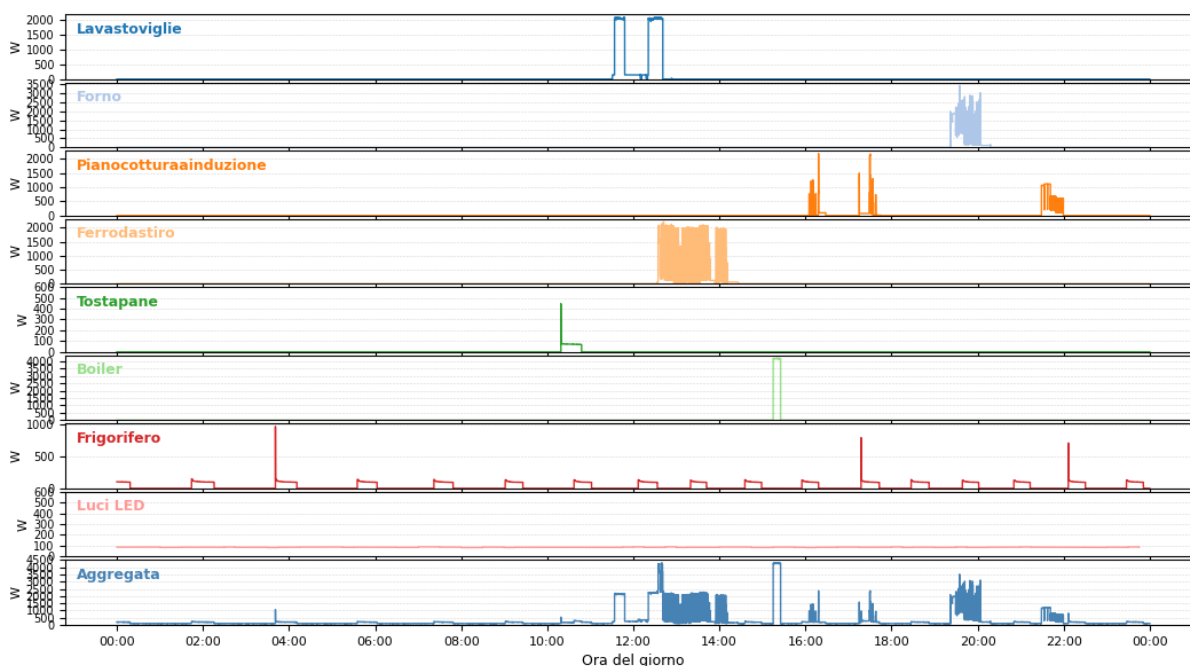


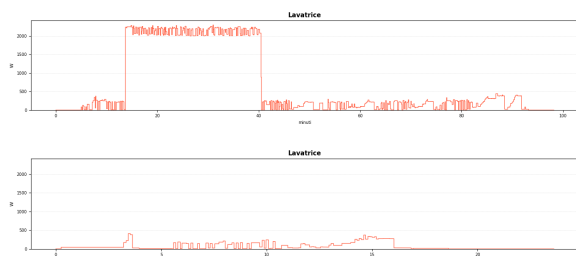
Figura 5. Curve di carico degli elettrodomestici attivi nella casa e curva di carico aggregata

3.3 Ma quanto è facile riconoscere un elettrodomestico?

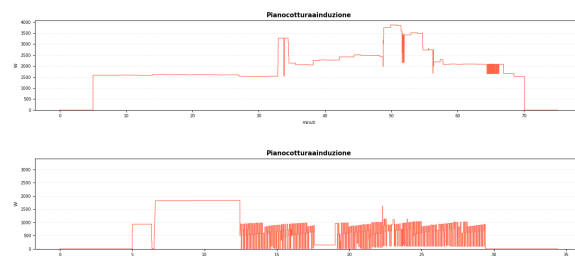
L'impronta di un elettrodomestico descrive il suo comportamento "tipico", ma nella realtà possono esserci variazioni. Una lavatrice a 40°C avrà una curva diversa da una a 20°C (Figura 6a); il piano cottura a induzione, molto variabile per numero di fuochi e livello di potenza, può avere impronte molto diverse (Figura 6b).

Inoltre, poiché le componenti elettriche di base sono poche, alcuni elettrodomestici hanno impronte molto simili. Il forno e il ferro da stiro, ad esempio, funzionano entrambi con una resistenza che scalda e si spegne intermittenemente: la loro firma elettrica è spesso sorprendentemente simile (Figura 6c).

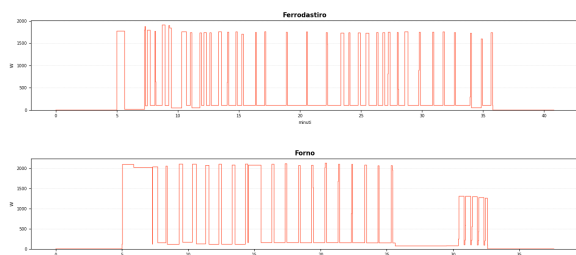
Anche dispositivi con componenti diverse, come fon (resistenza + motore) e aspirapolvere (solo motore), possono avere profili di consumo molto simili (Figura 6d).



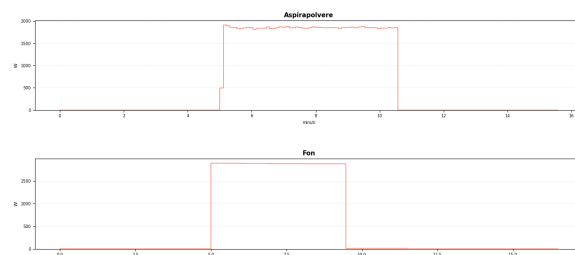
(a) Lavatrice a 40°C (sopra) e ciclo rapido a 20°C (sotto)



(b) Piano cottura a induzione (due modelli distinti)



(c) Ferro da stiro (sopra) e forno (sotto)



(d) Aspirapolvere (sopra) e asciugacapelli (sotto)

Figura 6. Variabilità e somiglianza tra impronte energetiche: confronti a coppie

NON TUTTI GLI ELETTRODOMESTICI SONO FACILI DA RICONOSCERE

Impronte stabili e univoche coesistono con impronte variabili e ambigue. Questa gerarchia di difficoltà si rifletterà inevitabilmente nelle performance del modello di disaggregazione.

4

I dati che abilitano la disaggregazione

Come abbiamo visto, disaggregare è difficile: le impronte energetiche si assomigliano, variano tra modelli e modalità d'uso, e il segnale Chain2 porta meno informazioni rispetto a quello di una pinza amperometrica ad alta frequenza. Per addestrare modelli capaci di operare in queste condizioni serve un **dataset ampio, vario e rappresentativo** della realtà italiana. Costruirlo è stato uno dei nostri investimenti più significativi.

140.000 tag, un unicum nella letteratura NILM. Il dataset complessivo di TaDa è ottenuto integrando fonti pubbliche, dati proprietari raccolti da abitazioni reali e dati sintetici. Ad oggi raggiunge oltre 140.000 attivazioni etichettate di elettrodomestici, su oltre 68.000 giorni monitorati, ed è in continua crescita grazie all'acquisizione di dati da nuove fonti. Per ampiezza e eterogeneità, non ha precedenti nella letteratura sul Non-Intrusive Load Monitoring.

4.1 Dati pubblici

Per supportare la ricerca sul NILM, nel corso del tempo sono stati raccolti e resi pubblici vari dataset contenenti la curva di carico aggregata e quella dei singoli dispositivi monitorati. La maggior parte presenta frequenze di campionamento elevate (0.1–1 Hz), significativamente più ricche rispetto al segnale Chain2.

La Tabella 3 riassume i dataset pubblici utilizzati, con la relativa copertura in termini di abitazioni, finestra temporale e tipologia di elettrodomestici.

COME ADATTIAMO I DATI PUBBLICI AL SEGNALE CHAIN2

I dataset pubblici sono raccolti a frequenza costante tramite pinze amperometriche. Per evitare che i modelli imparino caratteristiche visibili solo ad alta frequenza (e quindi inutilizzabili nel mondo Chain2) applichiamo un algoritmo di preprocessing che replica il comportamento di Chain2: selezioniamo solo i campioni registrati ogni 15 minuti e quelli corrispondenti a variazioni di consumo multiple di 300 W.

Dataset	Regione	Anno	Abitazioni	Dispositivi monitorati
UKDALE	UK	2013	5	Bollitore, Frigorifero, Lavatrice, Microonde, Lavastoviglie, Scaldabagno, Tostapane, Televisore, Aspirapolvere, Stufa elettrica, Macchina per caffè, Asciugacapelli, Forno
REFIT	UK	20132015	20	Asciugatrice, Bollitore, Frigorifero, Lavastoviglie, Lavatrice, Microonde, Stufetta elettrica, TV, Tostapane
PLEGMA	Grecia	20222023	13	Boiler, Bollitore, Condizionatore, Frigorifero, Lavastoviglie, Lavatrice

Tabella 3. Confronto tra dataset NILM pubblici

4.2 Dati proprietari

A integrazione dei dati pubblici, utilizziamo dataset proprietari raccolti tramite uno specifico setup hardware e software. La curva di carico totale viene costruita a partire dai dati Chain2; l’informazione relativa ai singoli elettrodomestici viene raccolta con due metodi:

- tramite **smart plug** installate sul singolo dispositivo, che forniscono la potenza assorbita a frequenza costante, successivamente allineata con quella del Chain2;
- tramite **segnalazione da parte dell’utente**, che attraverso un canale Telegram può notificare manualmente l’attivazione di un elettrodomestico.

Il secondo approccio è molto meno invasivo del primo, poiché non richiede l’installazione di dispositivi aggiuntivi oltre al Chain2Gate di MAC. Di contro, fornisce meno informazioni: dalla segnalazione è possibile sapere solo che un determinato elettrodomestico è attivo, ma non quanto stia consumando.

La Tabella 4 riassume i dataset proprietari raccolti da abitazioni reali.

Dati sintetici. Alcuni elettrodomestici, come ad esempio forno, ferro da stiro, piano cottura a induzione, sono scarsamente rappresentati nei dataset pubblici e difficili da raccogliere in grandi quantità anche nelle abitazioni reali. Per colmare questa lacuna abbiamo generato un dataset sintetico, costruendo abitazioni virtuali componendo in sequenza e in sovrapposizione le curve di carico dei singoli cicli di attivazione estratti da fonti reali. Sono state introdotte leggere trasformazioni in ampiezza e durata per migliorare la capacità di generalizzazione del modello e ridurre il rischio di overfitting.¹ La generazione sintetica offre inoltre piena flessibilità sulla quantità di dati producibili per ciascun elettrodomestico, indipendentemente dalla sua frequenza d’uso reale.

¹Per overfitting si intende la situazione in cui un modello di machine learning memorizza i dati in input anziché apprendere le regole che descrivono il fenomeno studiato.

Metodo di monitoraggio	Regione	Anno	Abitazioni	Dispositivi monitorati
Smart plug	Italia	20232025	4	Frigorifero, Lavatrice, Lavastoviglie, Condizionatore, Asciugatrice, TV
Bot Telegram	Italia	20252026	307	Frigorifero, Lavatrice, Asciugatrice, Lavastoviglie, Ferro da stiro, Fon, Aspirapolvere, Microonde, Forno, Condizionatore, Piano induzione

Tabella 4. Metodi di monitoraggio e dispositivi monitorati (dati proprietari)

La Tabella 5 riassume il numero complessivo di attivazioni per fonte e per elettrodomestico.

		Dati pubblici	Dati proprietari
Giorni monitorati		15 382	53 150
Elettrodomestici	Frigorifero	12 859	39 654
	Asciugatrice	1 536	990
	Bollitore	28 255	3 057
	Condizionatore	2 303	13 235
	Ferro da stiro	0	4 677
	Fon	196	1 740
	Forno	50	10 254
	Lavastoviglie	5 005	16 115
	Lavatrice	7 725	22 470
	Microonde	14 921	3 351
	Piano induzione	0	4 940
	Macchina caffè	0	2911

Tabella 5. Statistiche sui dati di utilizzo degli elettrodomestici. Per il frigorifero sono indicati i giorni totali monitorati, per i restanti elettrodomestici il numero di attivazioni. Nei dati proprietari sono inclusi i dati sintetici.

5

Disaggregazione dei consumi

È sul dataset appena presentato che abbiamo addestrato il modello al cuore della prima funzionalità di TaDa: la disaggregazione dei consumi domestici sul singolo elettrodomestico, il primo strumento che abbiamo scelto di sviluppare per far sì che le persone riscoprano l'importanza delle proprie scelte individuali.

La ricerca sulla disaggregazione si divide in due filoni. Il primo analizza consumi ad alte frequenze (50 Hz – 10 kHz), alle quali è possibile osservare armoniche nella forma d'onda che costituiscono una firma elettrica caratteristica, ma richiede hardware dedicato e costoso. Il secondo filone si concentra su dati a bassa frequenza (da un campione ogni pochi secondi a uno ogni quindici minuti) corrispondente alla risoluzione degli smart meter 2G. Sono stati proposti numerosi approcci, dai modelli probabilistici (HMM, FHMM) alle **tecniche di deep learning** (CNN, RNN, LSTM, transformer). Il vantaggio principale risiede nella **scalabilità**, non richiedendo sensori aggiuntivi rispetto all'infrastruttura già esistente.

5.1 Cosa disaggreghiamo oggi

Gli elettrodomestici attualmente gestiti dal modello sono i seguenti.



IL PRIMATO SUL PIANO COTTURA AD INDUZIONE

Per quanto emerge dallo stato dell'arte, il nostro è il primo modello al mondo capace di disaggregare il piano cottura a induzione: un elettrodomestico sempre più diffuso, specie nelle case di nuova costruzione, finora ignorato dalla letteratura NILM per la complessità e variabilità della sua impronta energetica.

Nel corso del 2026 stiamo lavorando per aggiungere:

- Asciugatrice
- Auto elettrica
- Scaldabagno
- Stufetta elettrica
- Piccoli elettrodomestici da cucina (microonde, bollitore, robot da cucina, friggitrice ad aria)

Perché non disaggreghiamo le luci?

Una domanda che sorge spontanea: se TaDa è in grado di riconoscere la lavatrice e il piano cottura a induzione, perché non anche le luci?

La risposta è nel protocollo Chain2. Come descritto nel Capitolo 2, Chain2 trasmette una nuova trama ogni volta che il consumo aggregato della casa varia di almeno **300 W**. Sotto questa soglia, le variazioni non generano alcun evento.

Una lampadina LED moderna consuma tra 5 e 15 W. Anche accendere simultaneamente cinque lampade da 10 W produce una variazione di soli 50 W: invisibile per Chain2. Persino una lampada alogena da 100 W resta al di sotto della soglia di rilevamento.

Questo non è un limite del modello di disaggregazione, ma un vincolo **strutturale del dato**: se la variazione non viene trasmessa, non esiste informazione su cui ragionare. Nessun algoritmo, per quanto sofisticato, può estrarre un segnale che non è mai arrivato.

5.2 Come funziona il modello

Il modello riceve in input una finestra temporale di consumi aggregati e restituisce, in un'unica operazione, la stima del consumo di ciascun elettrodomestico per ogni istante di quella stessa finestra. Questo approccio, detto *sequence-to-sequence*, rende l'**inferenza su migliaia di case altamente scalabile**, senza compromessi sulla qualità della disaggregazione. I dettagli matematici e implementativi sono riportati nei box seguenti.

IL MODELLO IN FORMA MATEMATICA

Il problema della disaggregazione. Il consumo totale della casa si decompone negli apporti dei singoli elettrodomestici più un termine residuo:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N a_i(t) + \epsilon(t) \quad (2)$$

dove $x(t)$ è il consumo totale, $a_i(t)$ il consumo dell'elettrodomestico i -esimo e $\epsilon(t)$ il residuo che raccoglie tutti i dispositivi non inclusi nei N oggetto della disaggregazione.

L'architettura sequence-to-sequence. Il modello apprende un mapping da una sequenza di consumi aggregati a N sequenze di consumi disaggregati:

$$[x(t), \dots, x(t+W)] \longrightarrow [a_i(t), \dots, a_i(t+W)] \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (3)$$

dove W è la lunghezza della finestra temporale. Con $W = 480$ (otto ore a 60s/campione), bastano tre forward pass per disaggregare un'intera giornata.

Il modello opera a una risoluzione di 60 secondi per campione, ottenuta ricampionando la curva di carico ricostruita dal segnale Chain2. Questa risoluzione rappresenta un compromesso tra risoluzione sufficiente a catturare le transizioni di stato e granularità abbastanza aggregata da risultare robusta rispetto al rumore intrinseco nei dati Chain2.

Feature selection Su ciascuna finestra, il consumo aggregato viene sintetizzato in feature statistiche (consumo medio, massimo etc.). L'orario viene codificato con trasformate sinusoidale e cosinusoidale:

$$\sin\left(\frac{2\pi m}{1440}\right); \quad \cos\left(\frac{2\pi m}{1440}\right) \quad (4)$$

dove m è il minuto della giornata (da 0 a 1439). Questa rappresentazione ciclica garantisce che le 23:59 e le 00:00 siano percepite dal modello come istanti vicini.

ARCHITETTURA E TRAINING

Il mapping è implementato tramite una rete neurale profonda a base convoluzionale e ricorrente, ispirata alla letteratura sulla semantic segmentation delle immagini, definita con PyTorch. Il grafo finale ha circa 13 milioni di parametri ed è stato addestrato su una VM con GPU NVIDIA A10g e CPU AMD EPYC 7R32 in circa 40 minuti. Uno schema riassuntivo dell'architettura è mostrato in Figura 7.

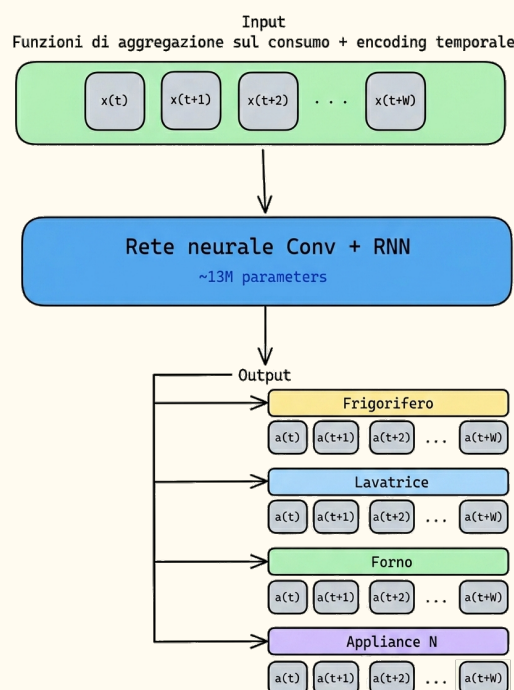


Figura 7. Schema dell'architettura sequence-to-sequence adottata.

Tra gli elettrodomestici gestiti, lo **standby** è l'unico a non essere stimato dalla rete neurale: viene infatti riconosciuto con un approccio **rule-based**. Lo standby rappresenta il consumo di fondo della casa, ovvero l'insieme dei dispositivi sempre alimentati (router, alimentatori, luci led di forno, microonde, TV), e per sua natura non corrisponde a cicli di attivazione, ma a un livello di base pressoché costante.

Per stimarlo consideriamo il **quinto percentile della distribuzione delle frame di potenza quaritorarie notturne**: le ore notturne sono quelle in cui l'attività domestica è minima, e il quinto percentile isola il livello di consumo di base filtrando i picchi residui dovuti ad attivazioni sporadiche. Questo valore costituisce una stima robusta del carico permanentemente presente nell'abitazione.

5.3 Dalla previsione grezza al risultato affidabile

Nessun modello è infallibile. Questo significa che per poter offrire a milioni di utenti la disaggregazione è necessario **prevedere e gestire in anticipo alcuni errori che il modello potrebbe commettere**, evitando che quelle che inizialmente possono sembrare semplici imprecisioni si propaghino fino ad inserirsi nei valori che gli utenti consulteranno. Una fonte di disturbo può essere individuata nella numerosità dei dispositivi elettrici che ciascun utente possiede, poiché alcuni di essi potrebbero non essere stati inclusi nel dataset di training. Catturare ogni dispositivo elettrico in commercio non è realizzabile: il modo che abbiamo scelto per ovviare a questo problema è applicare insieme al modello alcune regole euristiche che consentono di filtrare i falsi positivi. Di seguito riportiamo alcune delle logiche di post-processing che applichiamo a valle dell'output del modello neurale.

COME GESTIAMO GLI ERRORI DEL MODELLO

Cycle detection. La lavastoviglie compie cicli di lavaggio molto lunghi, ma il consumo maggiore avviene all'inizio e alla fine del ciclo. Per questo e per altri casi simili, la user experience desiderata è che venga conteggiato un solo ciclo, unificando eventuali on-off intermedi riportati dal modello a causa dei consumi troppo bassi. Per ciascun elettrodomestico vengono definite due soglie temporali:

- *min_on*: tempo di funzionamento minimo ritenuto accettabile per un ciclo "valido" di quell'elettrodomestico;
- *min_off*: durata entro la quale due diverse attivazioni vengono unite in un unico ciclo di funzionamento.

Qualsiasi previsione che non rispetta questi criteri viene scartata; attivazioni ravvicinate vengono accorpate in un unico ciclo.

Appliance detection. Un errore particolarmente spiacevole è il riconoscimento di un elettrodomestico che l'utente non possiede. Chiederlo direttamente all'utente, che sarebbe la strada più semplice, ha però quattro inconvenienti:

- il rischio di ricevere informazioni errate o incomplete;
- l'aggiunta di uno step all'onboarding, che TaDa vuole mantenere il più snello possibile;
- l'impossibilità di rilevare automaticamente nuovi elettrodomestici installati dopo il setup iniziale;
- la necessità di governare un ulteriore dato sensibile.

La nostra soluzione parte da un'osservazione: il modello commette questo tipo di errore raramente e in modo casuale. È quindi possibile usare il modello stesso su una finestra di circa un mese per inferire quali elettrodomestici sono presenti nell'abitazione, stimando tramite un framework bayesiano la probabilità:

$$P(\text{appliance is present} \mid \text{model output}) \quad (5)$$

La distribuzione del model output viene modellizzata come una variabile binomiale i cui parametri dipendono dalla lunghezza del periodo osservato, dal numero di "on" rilevati e dai true/false positive rate del modello.

5.4 Risultati

Il modello funziona. Su 6 elettrodomestici su 8, l'F1 score supera 0.70, soglia considerata buona nella letteratura NILM. L'errore energetico (SAE) rimane sotto il 20% per quasi tutti i dispositivi, con un lieve peggioramento per la macchina del caffè, ultimo dispositivo aggiunto e tuttora in fase di ottimizzazione R&D. Il dettaglio per elettrodomestico è riportato in Tabella 6.

Le performance del modello vengono valutate con **metriche sia di classificazione che di regressione**. Le prime misurano la capacità di individuare correttamente i cicli di ciascun elettrodomestico, minimizzando falsi positivi e falsi negativi. Le seconde quantificano, per ogni ciclo correttamente individuato, l'accuratezza della stima energetica, cioè quanto il consumo predetto si avvicina a quello reale.

Abbiamo scelto le metriche più adottate nel campo del NILM: l'F1 score per la classifi-

cazione e il normalized signal average error (SAE) per la regressione. Le metriche vengono calcolate individualmente per ogni casa del dataset e ponderate per il numero di attivazioni di ciascun elettrodomestico.

DEFINIZIONE DELLE METRICHE

Metriche per singola casa:

$$F1_i = \frac{2TP_i}{2TP_i + FP_i + FN_i} \quad SAE_i = \frac{|\hat{e}_i - e_i|}{e_i} \quad (6)$$

dove i è l'identificativo dell'elettrodomestico, TP , FP , FN denotano rispettivamente veri positivi, falsi positivi e falsi negativi, e_i indica l'energia consumata effettivamente (ground truth) e $\hat{e}_i$ l'energia stimata dal modello.

Aggregazione su tutto il dataset:

$$F1_i = \frac{\sum_{h=1}^H F1_{i,h} n_{i,h}}{\sum_{h=1}^H n_{i,h}} \quad SAE_i = \frac{\sum_{h=1}^H SAE_{i,h} n_{i,h}}{\sum_{h=1}^H n_{i,h}} \quad (7)$$

dove H è il numero di case nel dataset e $n_{i,h}$ è il numero di campioni validi per l'elettrodomestico i nella casa h .

Elettrodomestico	F1 score	SAE
Frigorifero	0.83	0.09
Lavatrice	0.81	0.20
Lavastoviglie	0.80	0.16
Forno	0.78	0.17
Ferro da stiro	0.59	0.11
Piano cottura a induzione	0.75	0.22
Condizionatore	0.68	0.10
Macchina caffè	0.75	0.47

Tabella 6. Prestazioni del modello per elettrodomestico

Perché parliamo di F1 score e non di accuratezza?

L'accuratezza, ovvero la frazione di previsioni corrette sul totale, è la metrica più intuitiva, ma in questo contesto è fuorviante. Il motivo è lo **sbilanciamento delle classi**: nella maggior parte delle ore della giornata, la maggior parte degli elettrodomestici è spenta. Un modello che risponde sempre "spento" otterrebbe un'accuratezza superiore al 90% senza aver imparato nulla di utile.

L'F1 score risolve questo problema combinando due misure complementari:

- **Precisione**: tra tutti i cicli che il modello dichiara attivi, quanti lo sono davvero?
- **Recall**: tra tutti i cicli realmente attivi, quanti ne individua il modello?

L'F1 essendo la media armonica delle due penalizza severamente sia chi "vede attivazioni ovunque" che chi "non ne vede mai". Un F1 di 0.70 significa che il modello trova la maggior parte dei cicli reali limitando il numero di falsi allarmi.

6

Use Case

La disaggregazione dei consumi non è un fine in sé, ma è la base che abilita una famiglia di applicazioni concrete, ciascuna rivolta a un bisogno diverso. In questo capitolo presentiamo tre use case che TaDa sta sviluppando, in ordine crescente di complessità del contesto in cui operano.

6.1 Consulente per la casa

La possibilità di monitorare i consumi domestici con un livello di dettaglio elevato costituisce il punto di partenza per la realizzazione di un **sistema centralizzato di gestione della casa, indipendente dalla marca e dal modello dei singoli elettrodomestici installati**. Dati così dettagliati consentono di accrescere consapevolezza dei propri consumi e formulare indicazioni mirate, capaci di ridurre i consumi o di ridistribuirli nel tempo senza che l'utente percepisca alcuna variazione nella qualità della propria vita domestica.

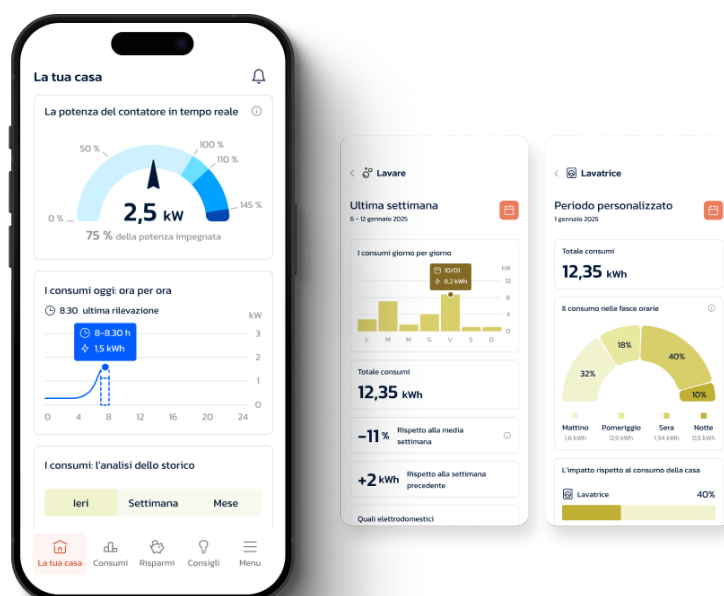


Figura 8. L'app TaDa: monitoraggio in tempo reale, analisi per elettrodomestico (disponibile dal giorno successivo) e distribuzione dei consumi nelle fasce orarie.

Perché questo sia possibile, il sistema deve innanzitutto disporre di un punto di controllo unico, capace di elaborare tutte le informazioni disponibili e di prendere decisioni coe-

renti sull'intera abitazione. In TaDa questa funzione è svolta da **algoritmi di Machine Learning proprietari** che monitorano i singoli elettrodomestici, le attività di consumo e il comportamento complessivo della casa: è la centralizzazione del controllo, più che la sofisticazione del singolo componente, a rendere possibile una gestione davvero coordinata.

Altrettanto determinante è la qualità e la provenienza del dato su cui il sistema lavora. Un consiglio che nasce direttamente dai dati della propria casa è profondamente diverso da uno generico, corretto in astratto ma difficile da applicare nella pratica, perché non parla della situazione specifica di chi lo riceve. È solo partendo dalla propria realtà che l'utente riesce a riconoscersi nei dati, a capire come funziona davvero la propria abitazione e ad acquisire gli strumenti per migliorarla. Per questo **tutto ciò che TaDa produce**, dai suggerimenti sulle abitudini di consumo alle metriche sui singoli elettrodomestici, **si basa esclusivamente sui dati della singola utenza**.

Raccogliere dati precisi e personalizzati è tuttavia solo il primo passo. Il valore reale emerge quando quei dati vengono interpretati in relazione alle abitudini degli abitanti, ai momenti della giornata e al contesto esterno: è in questa fase che il sistema smette di essere un semplice strumento di misurazione e diventa un supporto attivo all'ottimizzazione energetica, capace di individuare margini di risparmio non immediatamente visibili e di agire su di essi (in modo automatico o su indicazione dell'utente) senza mai compromettere il comfort della casa.

6.2 Manutenzione predittiva degli elettrodomestici

La disaggregazione dei consumi non produce solo informazioni utili all'utente finale: genera anche una conoscenza continua e dettagliata sul comportamento operativo di ogni singolo elettrodomestico. Questa conoscenza è la base di un use case distinto, rivolto non solo al consumatore finale ma anche ai suoi partner commerciali (produttori, retailer, catene di assistenza e assicuratori) che hanno un interesse diretto nel sapere come, quanto e in quale stato funzionano gli apparecchi che vendono, garantiscono o riparano.

Un elettrodomestico che consuma il 20% in più rispetto alla sua baseline storica, o che mostra cicli più brevi del normale, sta probabilmente comunicando qualcosa. **TaDa è in grado di ascoltarlo** senza installare nessun sensore aggiuntivo nel quadro elettrico.

6.2.1 Gli elettrodomestici invecchiano in silenzio

Il ciclo di vita di un elettrodomestico raramente termina con un guasto improvviso e visibile. Nella maggior parte dei casi **il deterioramento è graduale**: un compressore che lavora più a lungo per mantenere la stessa temperatura, una resistenza che scalda meno efficacemente, un motore che assorbe più corrente per la stessa velocità di rotazione. Questi segnali sono invisibili all'utente, ma si riflettono in modo misurabile nella curva di carico del dispositivo.

Il risultato è un doppio spreco: energetico, perché il dispositivo consuma più del neces-

sario per settimane o mesi prima del guasto; e economico, perché l'intervento avviene sempre in modalità reattiva, ovvero quando l'apparecchio si è già rotto, invece che preventiva.

6.2.2 L'impronta energetica come indicatore di salute

TaDa monitora l'impronta energetica di ciascun elettrodomestico e la confronta con due riferimenti:

- **La baseline storica del dispositivo:** come consumava lo stesso apparecchio nelle settimane e nei mesi precedenti. Deviazioni significative e persistenti rispetto alla propria storia indicano un cambiamento nel comportamento operativo.
- **Il profilo atteso per quella categoria:** come consumano tipicamente gli elettrodomestici dello stesso tipo e fascia. Deviazioni rispetto alla norma di categoria segnalano un'anomalia strutturale.

Quando una deviazione supera una soglia statistica significativa e si mantiene nel tempo, il sistema genera un **segnale di allerta** che può essere trasmesso all'utente, al partner commerciale o direttamente alla centrale operativa di assistenza.

Nessun hardware aggiuntivo nel quadro elettrico. A differenza dei sistemi di predictive maintenance industriali che richiedono sensori dedicati di vibrazione, temperatura o corrente, la soluzione TaDa si basa esclusivamente sui dati del contatore 2G già installato. Il costo marginale di abilitare il monitoraggio su un'abitazione esistente è trascurabile e non richiede interventi di installatori.

6.3 E-Health: autonomia e sicurezza nelle abitazioni

L'invecchiamento della popolazione e la crescente prevalenza di condizioni di fragilità pongono il settore sociosanitario davanti a una sfida strutturale: **garantire continuità assistenziale** a persone che non hanno ancora raggiunto un livello di dipendenza tale da richiedere il ricovero in struttura residenziale. Per molte di queste persone, la transizione verso una RSA rappresenta una rottura profonda con le proprie abitudini, il proprio ambiente e la propria identità quotidiana: un costo umano che si vorrebbe, quando possibile, evitare o almeno posticipare. Eppure vivere in autonomia espone a un rischio concreto: per chi vive solo, un malessere o una caduta che rendono la persona incapace di chiedere aiuto rischiano di non essere rilevati tempestivamente, trasformando un problema potenzialmente gestibile in un'emergenza [11].

Le abitudini quotidiane si riflettono in modo consistente e riconoscibile nei profili di consumo energetico dell'abitazione: la preparazione del caffè al mattino, l'uso del televisore nelle ore serali, il ciclo della lavatrice lasciano ciascuno una traccia caratteristica nel dato elettrico. Quando queste tracce si discostano in modo significativo dal profilo abituale, il sistema è in grado di rilevarlo e segnalarlo entro circa un'ora riducendo in maniera sostanziale la latenza dei modelli tradizionali.

Approccio tradizionale	Approccio TaDa
Dispositivi indossabili o telecamere	Nessun dispositivo aggiuntivo nel quadro elettrico
Richiede adesione attiva dell'utente	Completamente trasparente
Percezione costante di sorveglianza	Nessuna intrusione nella routine
Latenza media diverse ore [11]	Rilevamento entro 1 ora
Osserva la persona	Osserva solo i consumi

Tabella 7. Confronto tra approcci di monitoraggio

Il sistema proposto **monitora i consumi elettrici degli elettrodomestici e delle attività domestiche, e da questi inferisce informazioni sullo stato di attività e sulle routine comportamentali dell'utente**. Questa capacità è resa possibile dalla trasmissione automatica e continua dei dati verso una piattaforma centralizzata, senza richiedere alcuna azione da parte dell'utente. I dati vengono integrati con piattaforme già adottate nel settore della long-term care, capaci di modellare le routine attese di un individuo e tradurre le deviazioni in segnali azionabili per operatori e centrali operative che gestiscono in parallelo più utenti, con protocolli di escalation definiti e una supervisione scalabile senza presenza fisica continua.

L'ATTENZIONE VERSO LE PERSONE FRAGILI

Permettere a una persona fragile di continuare a vivere nel proprio ambiente domestico, con le proprie abitudini e i propri ritmi, senza indossare dispositivi o accettare la presenza di telecamere, significa preservare una dimensione di autonomia e dignità che le strutture residenziali non possono replicare. Dal punto di vista sistemico, questo colma un vuoto oggi largamente scoperto tra l'assenza totale di supporto e il ricovero in struttura, aprendo la strada a modelli di cura più graduati e rispettosi della complessità individuale.

6.4 Flessibilità dei consumi

La consapevolezza energetica non è un punto di arrivo, ma il prerequisito di un secondo passaggio: la flessibilità dei consumi, intesa sia in senso di flessibilità di rete locale che in senso di arbitraggio o flessibilità commerciale. Conoscere quanto, quando e con quale elettrodomestico si consuma è la condizione necessaria perché un consumo possa essere, consapevolmente, spostato nel tempo, modulato, o in alcuni casi rinunciato.

6.4.1 Dalla consapevolezza alla flessibilità

La conoscenza dei consumi disaggregati è la base abilitante per servizi di flessibilità della domanda residenziale, ovvero servizi in cui un operatore, un venditore di energia o un distributore, prova a modificare il profilo di consumo aggregato di un portafoglio

di clienti per inseguire un segnale di prezzo, un matching con la propria struttura di produzione o di approvvigionamento o un fabbisogno di sistema. La rilevanza di questi servizi cresce con l'aumento della quota di generazione rinnovabile non programmabile e con l'elettificazione dei consumi finali, che insieme stanno trasformando la rete di distribuzione da infrastruttura passiva a sistema attivo che richiede gestione dinamica.

6.4.2 Due flessibilità, non una

Nella narrativa pubblica si tende a sovrapporre due servizi che hanno finalità, controparti e finestre temporali sostanzialmente diverse, anche se si appoggiano sugli stessi dati:

- **La flessibilità di rete locale**, attivata dal Distribution System Operator (DSO) per gestire congestioni di rete, controllo di tensione e affidabilità sulla porzione di rete sotto la propria responsabilità. È un servizio di natura ancillare, attivato in finestre temporali specifiche legate a eventi di criticità della rete locale (ondate di calore in aree urbane dense, picchi di ricarica veicoli elettrici, gestione di inversioni di flusso dovute a generazione distribuita rinnovabile). Tre sperimentazioni sono oggi operative in Italia: RomeFlex di Areti [12], MiNDFlex di Unareti per la rete di Milano e Rozzano [13], e EDGE di e-Distribuzione su scala nazionale.
- **La flessibilità commerciale o arbitraggio**, attivata da un operatore energetico (retailer, BSP, aggregatore) per inseguire l'andamento dei prezzi di mercato spot e infragiornaliero, ottimizzando il proprio costo di sourcing, minimizzando i propri costi di sbilanciamento e remunerando l'utente che accetta di spostare consumi. È un servizio quotidiano, a basso valore unitario per singolo evento, ma di altissima frequenza e quindi di significativa rilevanza economica cumulata.

Le due flessibilità non sono alternative: convivono e generano valore in finestre temporali distinte. Un operatore che voglia presidiare entrambe ha bisogno di una vista unica sui consumi del proprio portafoglio clienti, con granularità sub-quartoraria e capacità di identificare, evento per evento, quale carico e quale cliente è candidabile alla modulazione.

6.4.3 Il quadro regolatorio italiano

I progetti pilota DSO italiani forniscono un dato di mercato concreto sulla disponibilità a pagare per la flessibilità locale residenziale. La seconda fase di MiNDFlex, approvata da ARERA nel 2025, ha definito tre parametri rilevanti: la potenza minima contrattuale del PoD scende a 3 kW (la tipica utenza domestica residenziale), la potenza modulabile minima si attesta a 300 W per contatore aggregabile, e il prezzo massimo riconosciuto per la disponibilità raggiunge 500.000 €/MW/anno [13], prima della valorizzazione delle attivazioni effettive del servizio. Il requisito tecnico abilitante per la partecipazione delle risorse è la disponibilità di dati di misura quartorari validati e certificati dal DSO, esattamente le caratteristiche native del protocollo Chain2.

6.4.4 Il livello di TaDa nella catena del valore

La catena del valore della flessibilità residenziale è articolata su tre livelli:

1. **Identification / intelligence:** sapere quali carichi, in quale momento, in quale casa, sono modulabili e quanto;
2. **Execution / dispatch:** l'attivazione fisica del comando di modulazione (accensione, spegnimento, regolazione del singolo dispositivo), inizialmente effettuata dal cliente e successivamente da attivazioni remote;
3. **Settlement / market:** la valorizzazione economica del servizio reso, sui mercati locali della flessibilità (MLF) gestiti dal GME nel caso del servizio ai DSO, o nei contratti commerciali bilaterali nel caso della flessibilità commerciale.

Le piattaforme di flessibilità che oggi si propongono al mercato europeo si concentrano prevalentemente sul secondo livello (controllo diretto di batterie domestiche, pompe di calore, EV) e in alcuni casi sul terzo (aggregazione e settlement come BSP). Il primo livello consiste nella conoscenza granulare di cosa c'è dietro al contatore, quando è in uso, e quanta potenza è realisticamente modulabile. Questo è strutturalmente sotto servito: richiede una capacità di disaggregazione che il soft NILM non offre, e che l'hard NILM tradizionale non riesce a portare a costo accettabile in residenziale.

DOVE SI COLLOCA TADA

La disaggregazione dei consumi attraverso il protocollo Chain2 fornisce, su scala potenzialmente nazionale e a costo trascurabile rispetto alle alternative hardware-based, l'intelligence di primo livello della catena del valore. Con l'intelligence TaDa, qualunque piattaforma di execution sa con precisione quale parte di carico è modulabile in un dato momento, su quali utenti, con quale impatto atteso sul sistema. La stessa disaggregazione permette inoltre di verificare a consuntivo se l'attivazione o lo spostamento del carico è effettivamente avvenuto, fornendo il riscontro misurato dell'azione richiesta.

6.4.5 Capacità modulabile per cliente

La capacità modulabile di un cliente residenziale dipende dalla composizione dei dispositivi presenti nel domicilio. Si possono identificare tre componenti di natura strutturalmente diversa:

- **Elettrodomestici modulabili:** basata sul mix di carichi termici e cicli programmabili (lavatrici, lavastoviglie, scaldabagni elettrici, pompe di calore), si attesta su una potenza modulabile media di circa 125 W per cliente sul mercato italiano e 150 W in Europa. È una capacità diffusa, disponibile su tutta la base clienti senza precondizioni di equipaggiamento.
- **Sistema di accumulo elettrico (BESS) domestico:** per le abitazioni che dispongono di una batteria domestica, la potenza istantanea si attesta su circa 4 kW in Italia e 5–6 kW in Europa. L'energia modulabile giornaliera disponibile è di circa 4,2 kWh per cliente italiano e 4,8 kWh per cliente europeo, in crescita con l'evoluzione della capacità media installata.
- **Wallbox per veicolo elettrico:** la potenza modulabile raggiunge circa 3,7 kW nelle installazioni monofase più diffuse, fino a 7–11 kW nelle installazioni trifase. La disponibilità è limitata alla finestra di connessione del veicolo, tipicamente 6–10 ore serali e notturne.

Quanti clienti servono per raggiungere 1 MW aggregabile? Un portafoglio puramente residenziale base richiede circa **8.000 clienti** italiani; un portafoglio con BESS raggiunge lo stesso obiettivo con circa **250 clienti**; un portafoglio con EV in carica con circa **270 clienti**. La vera sfida sta nell'identificazione della risorsa, più che nella sua disponibilità, ed è esattamente ciò che TaDa fornisce.



Riferimenti

- [1] Willett Kempton e Laura Montgomery. "Folk quantification of energy". In: *Energy: The International Journal* 7.10 (1982), pp. 817–827.
- [2] United Nations Environment Programme e Global Alliance for Buildings and Construction. *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025*. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>. Accessed: 2026-04-24. Mar. 2025.
- [3] C. Fischer. "Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy?" In: *Energy Efficiency* 1.1 (2008), pp. 79–104. doi: [10.1007/s12053-008-9009-7](https://doi.org/10.1007/s12053-008-9009-7).
- [4] K. C. Armel, A. Gupta, G. Shrimali e A. Albert. "Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity". In: *Energy Policy* 52 (2013), pp. 213–234. doi: [10.1016/j.enpol.2012.08.062](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.062).
- [5] E-Distribuzione S.p.A. *Open Meter: il contatore di seconda generazione (2G)*. <https://www.e-distribuzione.it/open-meter.html>. Accessed: 2026-06-09. 2026.
- [6] G. W. Hart. "Nonintrusive appliance load monitoring". In: *Proceedings of the IEEE* 80.12 (1992), pp. 1870–1891.
- [7] Enel Energia S.p.A. *e-monitor: lo strumento di monitoraggio gratuito per gestire i tuoi consumi*. Dashboard gratuita per il monitoraggio dei consumi domestici per elettrodomestico, disponibile nell'area clienti Enel Energia. 2025. URL: <https://www.enel.it/it-it/blog/guide/e-monitor> (visitato il 25/05/2026).
- [8] Sorgenia S.p.A. *Beyond Energy: consumare meglio per un mondo sostenibile*. Servizio gratuito di analisi avanzata dei consumi elettrici domestici, disponibile nell'app MySorgenia. 2026. URL: <https://www.sorgenia.it/beyond-energy> (visitato il 25/05/2026).
- [9] Edison Energia S.p.A. *Edison CoCo: consumare meno, consumare meglio*. Piattaforma gratuita di monitoraggio dei consumi energetici, inclusa nei contratti residenziali luce e/o gas Edison. 2025. URL: <https://www.edisonenergia.it/edison/edison-coco> (visitato il 25/05/2026).
- [10] Adrien Petralia, Philippe Charpentier, Youssef Kadhi e Themis Palpanas. "NILMFormer: Non-Intrusive Load Monitoring that Accounts for Non-Stationarity". In: *Proceedings of the 31st ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '25)*. Toronto, ON, Canada, 2025. doi: [10.48550/arXiv.2506.05880](https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.05880).
- [11] MSD Manuals. *Anziani che vivono soli*. Manuale MSD, versione per professionisti. Accessed: 2026-06-09. 2025. URL: <https://www.msdmanuals.com/it/professionale/geriatria/problematiche-sociali-negli-anziani/anziani-che-vivono-soli>.

- [12] Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA). *Deliberazione 527/2025/R/eel – Esercizio del progetto pilota RomeFlex per l'approvvigionamento di servizi ancillari locali proposto dalla società Areti S.p.A. per l'anno 2026*. Deliberazione ARERA 527/2025/R/eel. Accessed: 2026-06-09. 2025. URL: <https://www.aret.it/conoscere-aret/innovazione/progetto-romeflex>.
- [13] Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA). *Deliberazione 197/2025/R/eel – Approvazione, per l'anno 2025, del progetto pilota per l'approvvigionamento di servizi ancillari locali proposto dalla società Unareti S.p.A.* Deliberazione ARERA 197/2025/R/eel del 9 maggio 2025. Accessed: 2026-06-09. Mag. 2025. URL: <https://www.arera.it/atti-e-provvedimenti/dettaglio/25/197-25>.