



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale – LM/31

Percorso ICT and data analytics

Tesi di Laurea Magistrale

Sviluppo di un'app intelligente per la gestione degli acquisti e la riduzione dello spreco domestico

**Analisi, progettazione e sviluppo di un prototipo di web app basata su intelligenza
artificiale e meccanismi di gamification per la gestione sostenibile delle risorse
alimentari domestiche**

Relatori:

Prof. Maurizio Galetto

Prof.ssa Elisa Verna

Candidato:

Rossella Palermo

Anno Accademico 2024-2025

Sessione di Laurea - Novembre 2025

A Mamma, questo traguardo è soprattutto il tuo. Te lo meriti.

A Papà, mio primo sostenitore, per aver creduto in me.

A Chiara, per esserci più di chiunque altro.

Vi auguro il meglio.

Indice

Sommario	5
Premessa e contesto	5
Motivazione della ricerca	5
Obiettivi e domande di ricerca	6
Metodologia della ricerca	7
Contributi	8
Struttura della tesi	8
Capitolo 1 – Lo spreco alimentare domestico	11
1.1 Spreco alimentare: definizioni	12
1.2 Impatto ambientale, economico e sociale	13
1.3 Politiche esistenti	14
1.4 Cause del food waste domestico	14
Capitolo 2 – Revisione della letteratura	17
2.1 Stato dell'arte: fattori comportamentali	17
2.2 Stato dell'arte: tecnologie digitali	19
2.3 Integrazione dei domini e gap	20
Capitolo 3 – Metodologia	23
3.1 Obiettivi della metodologia	23
3.2 Analisi della letteratura	23
3.2.1 Strategia di ricerca	23
3.2.2 Criteri di inclusione ed esclusione	24
3.2.3 Processo di selezione degli studi	25
3.2.4 Classificazione degli articoli	26
3.2.5 Identificazione semantica con BERTopic	26
3.3 Survey – raccolta requisiti	28

3.3.1 Analisi di mercato delle soluzioni digitali	28
3.3.2 Identificazione di gap e requisiti	28
3.3.3 Validazione tramite survey.....	29
3.4 Progettazione concettuale	30
3.4.1 Obiettivi progettuali.....	30
3.4.2 Requisiti funzionali e non funzionali	31
3.4.3 Architettura concettuale.....	31
3.4.4 Casi d'uso.....	32
3.4.5 Linee guida di design	32
3.5 Prototipazione	33
Capitolo 4 – Risultati.....	35
4.1 Risultati della revisione	35
4.1.1 Classificazione dei risultati	35
4.1.2 Gerarchia del food waste.....	38
4.1.3 Fasi dello spreco domestico	42
4.1.4 Tecnologie e funzionalità mappate.....	45
4.1.5 Classificazione delle app esistenti	46
4.1.6 Modelli di economia circolare applicati.....	49
4.2 Sintesi integrata dei risultati e fattori comportamentali	50
4.3 Requisiti funzionali e gap rilevati.....	52
4.4 Risultati della survey di validazione	54
Capitolo 5 – Progettazione concettuale	59
5.1 Progettazione del sistema: principi e obiettivi	59
5.2 Architettura logica del sistema	60
5.3 Tecnologie e funzionalità derivate dai requisiti utente.....	63
5.4 Casi d'uso e scenari funzionali	65

5.4.1 Caso d’Uso 1 – Registrazione Utente	66
5.4.2 Caso d’Uso 2 – Aggiunta Alimento alla Dispensa	68
5.4.3 Caso d’Uso 3 – Suggerimento Ricette con Ingredienti Disponibili	69
5.5 Behaviour Loop.....	70
Capitolo 6 - Prototipazione	73
6.1 Ambiente di esecuzione e setup	73
6.2 Architettura del prototipo.....	74
6.3 Modello dati.....	75
6.4 Algoritmo per il calcolo del profilo nutrizionale.....	77
6.5 Componenti AI e strategie di fallback	78
6.6 Funzionalità implementate	80
6.7 Interfaccia utente e linee guida UX.....	82
6.8 Verifica tecnica del prototipo	85
Capitolo 7 – Conclusioni e sviluppi futuri	87
7.1 Conclusioni.....	87
7.2 Limiti	88
7.3 Sviluppi futuri	89
Riconoscimenti	93
Ringraziamenti	94
Allegati	95
A. Script classificazione BERTopic.....	95
B. Tabella - Articoli.....	101
C. Tabella – Classificazione app.....	114
D. Link – survey	121
E. Link - repository GitHub progetto FoodFlow	121
Bibliografia	123

Indice delle Figure.....	127
Indice delle tabelle.....	129

Sommario

Premessa e contesto

La presente tesi si propone di progettare una web application per la riduzione dello spreco alimentare domestico, basata sulla gestione ottimizzata delle scorte e sulla pianificazione intelligente dei pasti: l'obiettivo generale è integrare strumenti tecnologici avanzati, come algoritmi di intelligenza artificiale con approcci comportamentali orientati alla promozione di scelte di consumo più consapevoli e sostenibili.

Lo spreco alimentare rappresenta una delle principali sfide globali contemporanee, con impatti ambientali, economici e sociali di ampia portata; secondo le stime della FAO, oltre il 60% dello spreco a valle della filiera è generato in ambito domestico, rendendo questo contesto prioritario per lo sviluppo di interventi efficaci e strumenti di supporto al cambiamento [1] .

A livello politico e istituzionale, la riduzione dello spreco alimentare costituisce un obiettivo prioritario dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e, in particolare, dell'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile 12.3, che mira a dimezzare entro il 2030 lo spreco alimentare pro capite [2].

Negli ultimi anni si è assistito, infatti, a una crescente diffusione di strumenti digitali per la gestione del cibo, come applicazioni mobili, sensori IoT, sistemi di tracciamento delle scadenze e algoritmi predittivi, che tuttavia risultano spesso parziali e frammentati: molte soluzioni si concentrano su singoli aspetti del problema, come ad esempio la pianificazione dei pasti o la condivisione degli avanzi, senza un'integrazione sistemica con la dimensione comportamentale, motivazionale e cognitiva dell'utente.

In questo scenario emerge la necessità di un approccio interdisciplinare che combini innovazione tecnologica e scienze comportamentali, capace di generare un cambiamento duraturo nelle abitudini di consumo e nella gestione delle risorse domestiche.

Motivazione della ricerca

Lo spreco alimentare domestico costituisce circa il 61% dello spreco complessivo a valle della filiera alimentare globale [1], generando impatti ambientali, economici e sociali significativi. Dal punto di vista ambientale, il cibo sprecato comporta un utilizzo non necessario di acqua, suolo ed energia, e contribuisce in maniera sostanziale alle emissioni globali di gas serra, stimate in circa 3,3 miliardi di

tonnellate di CO₂ equivalente l'anno. Sul piano economico, il fenomeno comporta una perdita media di 300–500 euro annui per nucleo familiare nei Paesi europei [3], incidendo sui bilanci domestici e riducendo la resilienza del sistema alimentare complessivo.

Sul versante sociale, lo spreco domestico rappresenta un paradosso etico; mentre una parte della popolazione dispone di eccedenze alimentari che finiscono inutilizzate, una quota crescente di individui vive in condizioni di incertezza alimentare.

Da questo scenario emerge un gap strutturale, quale la mancanza di una sintesi integrata tra le potenzialità tecnologiche e la comprensione dei driver e delle barriere comportamentali che determinano lo spreco. La presente tesi si colloca esattamente in tale spazio, con l'obiettivo di colmare la distanza tra innovazione digitale e cambiamento comportamentale, proponendo un modello applicativo che traduca le conoscenze scientifiche in strumenti operativi per la gestione quotidiana del cibo.

Obiettivi e domande di ricerca

Questa tesi si propone di colmare tale lacuna proponendo una soluzione concreta e solida per la riduzione dello spreco alimentare domestico, che tenga conto anche di aspetti nutrizionali e di benessere della persona: l'obiettivo generale è quello di sviluppare un modello concettuale e un prototipo integrato, *FoodFlow*, capace di ottimizzare la gestione delle scorte, supportare la pianificazione dei pasti e stimolare comportamenti sostenibili attraverso suggerimenti personalizzati.

A tal fine, la ricerca si articola intorno a tre domande principali: RQ1, quali tecnologie sono state adottate per la riduzione dello spreco alimentare domestico e quali evidenze di efficacia emergono dalla letteratura scientifica? RQ2, quali driver e barriere comportamentali risultano più rilevanti nel determinare lo spreco alimentare in ambito domestico e come si manifestano nelle abitudini quotidiane dei consumatori? RQ3, in che modo è possibile integrare le evidenze tecnologiche e comportamentali in linee guida operative per la gestione ottimale delle scorte e la pianificazione dei pasti, traducendole in una soluzione applicativa concreta?

Attraverso queste domande, la tesi mira a costruire un ponte tra ricerca teorica e applicazione pratica, fornendo un contributo sia conoscitivo sia progettuale al tema della sostenibilità alimentare domestica.

Metodologia della ricerca

L'impianto metodologico si fonda su un modello di tipo *mixed-method*, finalizzato a integrare evidenze teoriche ed empiriche in un percorso progressivo che conduce dalla comprensione del fenomeno alla definizione di un prototipo operativo. Il diagramma in Figura 1 illustra brevemente il processo utilizzato.

La prima fase ha riguardato la revisione sistematica della letteratura scientifica pubblicata tra il 2010 e il 2025, con l'obiettivo di individuare le principali tecnologie digitali e i fattori comportamentali connessi al food waste domestico. L'analisi è stata condotta consultando la banca dati accademica Scopus e analizzando in parallelo le principali applicazioni digitali disponibili sul mercato, al fine di ottenere una panoramica completa dello stato dell'arte. La selezione delle fonti è avvenuta sulla base di criteri rigorosi di inclusione, privilegiando studi che affrontano il problema dello spreco alimentare in ambito domestico e che documentano l'uso di strumenti digitali a supporto della sua riduzione. Questa fase ha permesso di costruire una mappa integrata delle relazioni tra tecnologie, comportamenti e strategie di intervento.

Successivamente, la seconda fase ha riguardato l'individuazione dei bisogni utente e la traduzione delle criticità emerse nella letteratura in requisiti progettuali. A tal fine è stata condotta una *survey* esplorativa finalizzata alla raccolta e alla prioritizzazione dei requisiti funzionali e non funzionali della futura applicazione: l'indagine ha permesso di comprendere le abitudini, le difficoltà e le preferenze degli utenti nella gestione domestica delle scorte alimentari, nonché di identificare le principali leve di cambiamento comportamentale.

La terza fase ha riguardato la progettazione dell'architettura logica e delle componenti funzionali del sistema. L'obiettivo progettuale è stato quello di realizzare un sistema capace di operare in modo proattivo, suggerendo ricette compatibili con gli alimenti disponibili, notificando la prossimità delle scadenze e fornendo indicazioni personalizzate per ottimizzare la gestione della dispensa.

Infine, la quarta fase ha previsto la realizzazione di un prototipo funzionale in ambiente web-based, sviluppato secondo un processo iterativo ispirato ai principi del *design thinking*: il prototipo è stato



Figura 1: Metodologia della ricerca

oggetto di una valutazione qualitativa preliminare, finalizzata a verificare la coerenza tra le funzionalità implementate e i requisiti individuati nelle fasi precedenti.

Contributi

La tesi fornisce contributi sia teorici sia applicativi: sul piano teorico, elabora una mappa integrata che connette le evidenze relative alle tecnologie digitali e ai comportamenti domestici, offrendo una visione sistematica dei driver e delle barriere che determinano lo spreco alimentare, mentre sul piano pratico, definisce un insieme di linee guida di design basate sui risultati della revisione e della survey, utili alla progettazione e alla prototipazione di applicazioni digitali orientate alla riduzione dello spreco e alla promozione di scelte alimentari consapevoli.

Struttura della tesi

La tesi è articolata in sette capitoli, organizzati in modo da seguire un percorso logico che parte dall'analisi del problema fino alla progettazione e prototipazione di una soluzione applicativa concreta.

Nel Capitolo 1 vengono introdotti i concetti fondamentali relativi allo spreco alimentare domestico, le sue definizioni, gli impatti ambientali, economici e sociali, le principali politiche di riferimento e le cause comportamentali alla base del fenomeno. Il Capitolo 2 presenta la revisione della letteratura scientifica, analizzando in modo sistematico sia i fattori comportamentali che le tecnologie digitali applicate alla riduzione del food waste, e mettendo in evidenza i principali gap di ricerca. Il Capitolo 3 descrive la metodologia adottata che contiene revisione strutturata della letteratura, survey per la raccolta e prioritizzazione dei requisiti progettuali, definizione di linee guida per la progettazione di un prototipo integrato. Il Capitolo 4 illustra i risultati ottenuti dalle diverse fasi della ricerca, includendo la classificazione delle tecnologie e dei fattori comportamentali, la sintesi integrata delle evidenze e l'analisi dei requisiti funzionali emersi dalla survey. Nel Capitolo 5 viene presentata la progettazione concettuale del sistema, con la definizione dell'architettura logica, dei principi progettuali, dei casi d'uso principali e del behaviour loop che collega dinamiche tecnologiche e cambiamento comportamentale. Il Capitolo 6 è dedicato alla fase di prototipazione, descrivendo nel dettaglio l'architettura implementativa, gli algoritmi e le logiche utilizzate, l'interfaccia utente e le funzionalità progettate per favorire una gestione più sostenibile delle scorte alimentari. Infine, il Capitolo 7 raccoglie la discussione e le conclusioni, sintetizzando i contributi teorici e pratici della

tesi, evidenziando i limiti dello studio e delineando le prospettive future di ricerca e sviluppo applicativo.

Capitolo 1 – Lo spreco alimentare domestico

Lo spreco alimentare domestico rappresenta, ad oggi, una delle più gravi inefficienze del sistema agroalimentare globale, nonché una sfida prioritaria per le politiche di sostenibilità ambientale, equità sociale ed efficienza economica. Nel 2019, 931 milioni di tonnellate di cibi sono state sprecate a livello globale da famiglie, rivenditori, ristoranti e servizi di ristorazione, pari al 17% del cibo totale a disposizione dei consumatori secondo le stime de Food Waste Index Report dell'UNEP [1]. In questo contesto, la quota di responsabilità attribuibile al consumo domestico è tutt'altro che marginale, infatti secondo l'ultimo *Food Waste Index Report* pubblicato dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente [1], circa il 61% dello spreco alimentare globale è generato nelle abitazioni private, con una media di 74 kg per persona all'anno.

A differenza dello spreco che si verifica in ambito industriale o distributivo, quello domestico è fortemente legato ai comportamenti individuali e familiare, spesso percepiti come poco rilevanti ma cumulativamente responsabili di una quota significativa del problema.

L'impatto dello spreco domestico non si limita alla perdita di risorse alimentare, ma ogni alimento gettato comporta un dispendio di risorse naturali necessarie alla sua produzione, trasformazione, trasporto e distribuzione. Le emissioni associate a questi processi collocano il food waste, infatti, tra le principali fonti di impatto ambientale negativo, con effetti diretti sul cambiamento climatico. A livello economico, inoltre, lo spreco alimentare rappresenta una perdita significativa per le famiglie, mentre sul piano sociale contribuisce ad amplificare le disuguaglianze nell'accesso al cibo, in un mondo in cui circa 690 milioni di persone soffrono ancora la fame [4].

Dal punto di vista normativo, il contrasto allo spreco alimentare si configura come una priorità internazionale; l'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile (SDG) 12.3 dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite si propone di dimezzare entro il 2030 lo spreco alimentare pro capite a livello di vendita al dettaglio e di consumo, promuovendo contestualmente la riduzione delle perdite lungo tutta la catena di approvvigionamento [5]. A livello europeo, la Commissione ha inserito la lotta allo spreco tra le priorità del Green Deal e della Strategia Farm to Fork, riconoscendo il ruolo centrale che possono assumere cittadini, aziende e tecnologie nel perseguimento di una maggiore sostenibilità alimentare.

In questo contesto, lo studio dello spreco alimentare si focalizza sull'individuazione delle cause e delle leve possibili per intervenire in modo efficace. Il presente capitolo si propone di fornire un

inquadramento teorico e concettuale del fenomeno, partendo dalle definizioni chiave e l'analisi delle principali cause, degli impatti associati e delle politiche in vigore. Tale analisi costituisce la base conoscitiva necessaria per motivare e orientare la progettazione di una soluzione digitale, capace di supportare gli utenti nella gestione più efficiente e consapevole delle risorse alimentari in ambito domestico.

1.1 Spreco alimentare: definizioni

Per la definizione del concetto di spreco alimentare, è fondamentale la comprensione della distinzione tra i termini food waste e food loss in modo di identificare le strategie di contrasto a tale problematica; con il termine food loss si fa riferimento alla perdita di alimenti che si verifica nelle prime fasi della catena di approvvigionamento alimentare, dalla produzione fino alla distribuzione, in cui le perdite sono spesso causate da problemi strutturali o logistici, come raccolti non effettuati per ragioni economiche, danneggiamenti durante il trasporto o inefficienze nei processi industriali. Trattandosi di fenomeni prevalentemente non intenzionali e spesso legati a fattori esterni o di sistema, la gestione del food loss richiede interventi infrastrutturali, tecnologie di controllo qualità e miglioramenti nella filiera.

Al contrario, il termine food waste indica lo spreco che si verifica nelle fasi finali della catena del valore, in particolare nella distribuzione al dettaglio, nella ristorazione e, soprattutto, nel consumo domestico. Si tratta, quindi, di alimenti che vengono scartati, pur essendo ancora perfettamente commestibili, per questioni legate a cattive abitudini, scarsa consapevolezza, pianificazione inadeguata o semplice negligenza. In questo caso, la responsabilità dello spreco è attribuibile direttamente ai comportamenti umani, ed in questo ambito le strategie di intervento possono includere azioni di sensibilizzazione, strumenti digitali e incentivi al cambiamento comportamentale.

L'Unione Europea, nel documento strategico "A Farm to Fork Strategy" [6], conferma la precedente distinzione, sottolineando come la riduzione del food waste rientri tra le azioni prioritarie per garantire un sistema alimentare più sostenibile, resiliente e giusto. In particolare, il consumo domestico è oggi considerato uno dei principali fronti di spreco alimentare infatti, secondo il *Food Waste Index Report* dell'UNEP [1], circa il 61% del totale globale dello spreco si verifica nelle abitazioni, mentre solo il 26% avviene nella ristorazione e il 13% nel commercio al dettaglio, evidenziando il ruolo principale delle famiglie e dei consumatori finali nelle dinamiche dello spreco,

e ponendo l'accento sulla necessità di strumenti in grado di agire direttamente sul comportamento quotidiano degli utenti finali.

1.2 Impatto ambientale, economico e sociale

Lo spreco alimentare domestico rappresenta, ad oggi, un problema complesso, le cui conseguenze si estendono ben oltre la semplice perdita di cibo interessando ambiti ambientali, economici e sociali. Dal punto di vista ambientale, come evidenziato dalle stime recenti della Food and Agriculture Organization [7], circa un terzo del cibo prodotto a livello mondiale viene perso o sprecato, generando il 10% delle emissioni globali di gas serra legate all'attività umana; ciò è particolarmente rilevante considerando l'impatto associato alla produzione degli alimenti, che richiede ingenti quantità di acqua, energia, fertilizzanti e suolo. Anche per quel che riguarda il trasporto, la trasformazione e la conservazione degli alimenti implicano un dispendio inutile di risorse e, inoltre, anche lo smaltimento dei rifiuti organici alimentari, spesso effettuato in discariche o attraverso inceneritori, contribuisce alla produzione di metano, un gas a effetto serra con un potenziale di riscaldamento globale 25 volte più potente di quello della CO₂ in 100 anni [8].

Sul piano economico, lo spreco alimentare domestico si traduce in una perdita diretta per le famiglie che si trovano a sostenere costi per l'acquisto di prodotti che non vengono poi consumati. Questi sprechi rappresentano un'inefficienza economica che riduce il potere d'acquisto e incide negativamente sul bilancio familiare, con un impatto particolarmente marcato sulle fasce socioeconomiche più vulnerabili e nei paesi a basso e medio reddito, dove le risorse limitate aggravano la sfida della riduzione dello spreco alimentare [9]. Secondo stime dell'Unione Europea, il costo totale dello spreco alimentare ammonta a 940 di dollari annui [10], considerando non solo il valore del cibo gettato, ma anche le spese legate alla gestione dei rifiuti e alle risorse impiegate nella produzione.

L'impatto sociale dello spreco alimentare è spesso sottovalutato e, in un contesto globale caratterizzato dalla presenza della fame che colpisce ancora circa 690 milioni di persone [4], lo spreco di ingenti quantità di cibo destinato al consumo, rappresenta un paradosso. Per questo motivo, molte iniziative si focalizzano, dunque, non solo sulla riduzione quantitativa degli sprechi, ma anche sulla promozione di un cambiamento culturale e sull'incentivo a comportamenti più sostenibili dei consumatori al fine di valorizzare il cibo come un bene prezioso ed essenziale.

1.3 Politiche esistenti

La riduzione dello spreco alimentare rappresenta un tema fondamentale all'interno dell'agenda globale per la sostenibilità; infatti, la comunità internazionale ha riconosciuto formalmente la necessità di affrontare questa problematica attraverso una serie di politiche e strategie coordinate a vari livelli istituzionali. Tra i principali riferimenti normativi, l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite costituisce il quadro di riferimento più autorevole; in particolare, l'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile (SDG) 12, che si concentra sul consumo e produzione responsabili, include il Target 12.3, il quale si prefigge di dimezzare, entro il 2030, lo spreco alimentare globale a livello di vendita al dettaglio e consumo, nonché di ridurre le perdite lungo le filiere di produzione e distribuzione [5].

A livello europeo, la strategia Farm to Fork, parte integrante del Green Deal, rappresenta un importante passo nella politica della sostenibilità in quanto pone l'attenzione sulla prevenzione e sulla riduzione dello spreco lungo tutta la filiera alimentare, promuovendo l'adozione di soluzioni tecnologiche, l'ottimizzazione della gestione delle risorse e la sensibilizzazione dei consumatori finali [6].

La dimensione comportamentale, inoltre, gioca un ruolo centrale e la gestione inefficiente delle scorte, l'acquisto impulsivo e la scarsa conoscenza delle tecniche di conservazione contribuiscono significativamente al problema; infatti, attualmente, le politiche dimostrate più efficienti sono quelle che integrano normative con programmi di educazione e sensibilizzazione e l'adozione di tecnologie digitali intelligenti, capaci di supportare i consumatori nel modificare le proprie abitudini quotidiane come l'uso di applicazioni mobili dotate di sistemi di notifica, algoritmi di ottimizzazione e meccanismi di gamification che rappresentano un esempio concreto di come la tecnologia possa contribuire a tradurre gli obiettivi politici in pratiche sostenibili e durature.

1.4 Cause del food waste domestico

Lo spreco alimentare a livello domestico è il risultato di una complessa interazione tra fattori comportamentali, organizzativi e culturali, i quali agiscono spesso in modo combinato tra loro. Tra i fattori principali, gli acquisti eccessivi o impulsivi costituiscono una delle cause più rilevanti di spreco; infatti, la mancanza di pianificazione e l'esposizione a promozioni commerciali influenzano significativamente il comportamento dei consumatori portando all'acquisto di quantità di alimenti superiori al reale fabbisogno, che spesso vengono dimenticati nelle dispense o nei frigoriferi,

aumentando il rischio di deterioramento prima dell'effettivo consumo. Un ulteriore contributo significativo allo spreco domestico deriva dalla gestione disorganizzata della conservazione. La disposizione inefficace degli alimenti e la difficoltà di ricordarne la presenza nelle dispense complicano l'ottimizzazione dei tempi di consumo e della rotazione dei prodotti [11].

La scarsa consapevolezza dei consumatori rispetto alle quantità necessarie, alle porzioni e alle date di scadenza rappresenta un ulteriore fattore critico e la difficoltà nel valutare correttamente le quantità da acquistare e consumare, combinata a informazioni spesso poco chiare sulle etichette dei prodotti, porta frequentemente a scarti prematuri. Inoltre, la pianificazione inadeguata dei pasti e degli acquisti costituisce un ulteriore determinante dello spreco domestico. L'assenza di una programmazione settimanale o quotidiana impedisce di prevedere con precisione i consumi, favorendo l'acquisto di prodotti non necessari o in quantità eccessive, fenomeno particolarmente rilevante in nuclei familiari con stili di vita intensi o con tempo limitato per la gestione domestica.

Il problema degli avanzi non gestiti rappresenta un'altra causa comune dello spreco. La preparazione di porzioni eccessive, unita a una scarsa abitudine al riutilizzo, conduce frequentemente a scarti alimentari. Anche, la confusione sulle etichette dei prodotti rappresenta un ulteriore fattore critico, infatti la distinzione tra indicazioni come "da consumarsi preferibilmente entro" e "da consumarsi entro" risulta spesso poco chiara per il consumatore, inducendo la tendenza a scartare alimenti ancora commestibili per timore che possano essere deteriorati[12]. Infine, la frequenza degli acquisti contribuisce in modo significativo al problema dello spreco, infatti, acquistare raramente e in quantità eccessive comporta il deterioramento degli alimenti prima dell'effettivo consumo, mentre routine domestiche intense aumentano le probabilità dello spreco.

Tuttavia, è opportuno considerare, oltre ai fattori individuali, il ruolo della cultura e delle norme sociali, che modellano le abitudini di acquisto, conservazione e condivisione del cibo, influenzando la predisposizione dei consumatori allo spreco. Le principali cause comportamentali dello spreco alimentare saranno analizzate e sintetizzate in una tabella riportata nel Capitolo 4.

Capitolo 2 – Revisione della letteratura

Negli ultimi anni, la ricerca ha esplorato un ampio spettro di soluzioni tecnologiche finalizzate alla riduzione dello spreco domestico quali applicazioni mobili per il monitoraggio delle scorte e la gestione della lista della spesa, sistemi di inventario digitale, frigoriferi smart e dispositivi IoT capaci di rilevare la freschezza degli alimenti e suggerire strategie di consumo ottimizzate, tutti strumenti che possiedono un potenziale significativo nel supportare decisioni più consapevoli da parte dei consumatori ma, la loro adozione e integrazione nelle routine quotidiane rimane comunque complessa.

L'obiettivo del presente capitolo è duplice: da un lato, offrire una panoramica delle principali evidenze scientifiche sui principali fattori comportamentali e sulle soluzioni tecnologiche volte alla riduzione dello spreco alimentare domestico; dall'altro, individuare i principali gap conoscitivi e applicativi ancora presenti in letteratura e nella pratica.

Questa revisione intende costituire la base teorica per la progettazione di interventi innovativi tecnologici, definendo l'attuale stato dell'arte sulle tecnologie implementate e sui fattori comportamentali studiati in letteratura.

2.1 Stato dell'arte: fattori comportamentali

Diversamente dalle perdite generate a monte della filiera, che possono essere mitigate tramite strategie logistiche e tecniche, lo spreco nelle famiglie è fortemente dipendente dalle routine, dalle percezioni soggettive e dalle norme sociali, rendendone la gestione meno prevedibile e più difficile da trasformare in modo strutturale.

Un contributo fondamentale a questa discussione è fornito dalla revisione di Schanes, Dobernig e Gözet [13], che ha raccolto e sintetizzato le principali evidenze empiriche sullo spreco domestico, evidenziando come le pratiche quotidiane legate alla pianificazione degli acquisti e dei pasti, alla gestione delle scorte domestiche e alla preparazione delle porzioni giochino un ruolo determinante. A queste si aggiungono difficoltà interpretative delle etichette alimentari, che portano spesso a scartare prodotti ancora commestibili, e norme culturali che associano l'abbondanza di cibo a benessere e cura familiare, rafforzando abitudini di accumulo. Nonostante la ricchezza di studi empirici, gli autori rilevano una frammentazione metodologica e una prevalenza di indagini basate

su dati auto-riportati, elementi che riducono la possibilità di generalizzare i risultati e di stimare l'impatto reale delle pratiche osservate.

In continuità con questa prospettiva, ma con un orientamento più teorico, lo studio di Deliberador et al. [14] ha proposto un framework concettuale volto a sintetizzare i principali determinanti dello spreco alimentare domestico, raggruppandoli in tre macrocategorie: variabili sociopsicologiche, organizzative e culturali; nella prima categoria rientrano fattori quali le norme sociali, la consapevolezza delle conseguenze e la percezione soggettiva del rischio, nella seconda si collocano la pianificazione degli acquisti e dei pasti, la gestione delle scorte e la preparazione delle porzioni e nella terza, infine, emergono i valori culturali legati all'abbondanza e alle pratiche di convivialità. Il framework mette in evidenza, inoltre, alcune lacune nella letteratura, in particolare la scarsa attenzione alle dimensioni emotive e motivazionali che possono avere un ruolo significativo nella formazione e nel mantenimento di pratiche di consumo più sostenibili.

Un ulteriore passo in avanti è stato compiuto da Keller e Gombos [15], che, attraverso interviste qualitative a sessanta famiglie ungheresi, hanno cercato di integrare i principali modelli psicologici utilizzati nello studio dei comportamenti ambientali, il *Norm Activation Model* [16] e la *Theory of Planned Behavior* [17], individuando quattro dimensioni chiave che spiegano le pratiche di riduzione dello spreco: attribuzione di responsabilità, consapevolezza delle conseguenze, norme personali e barriere pratiche, le quali si sono rivelate particolarmente rilevanti, includendo fattori come acquisti impulsivi, pratiche inadeguate di conservazione, mancanza di conoscenza delle iniziative di recupero e difficoltà a integrare nuove routine domestiche. Lo studio, inoltre, pone l'evidenza su come le differenze demografiche come età, reddito e composizione familiare e quelle territoriali incidono significativamente sulla quantità e sulle modalità di spreco, suggerendo che le strategie di riduzione devono essere adattate tenendo conto degli specifici contesti socioculturali dei consumatori.

In questa prospettiva, lo studio di Reynolds et al. [12] rappresenta un contributo di particolare rilievo, offrendo una revisione sistematica degli interventi mirati alla riduzione dello spreco alimentare nella fase di consumo. Gli autori classificano gli interventi in tre categorie principali, come informativi, tecnologici e di sistema, mettendo in evidenza come le strategie più efficaci derivino dall'integrazione di leve cognitive e strumenti digitali all'interno di un approccio sistemico.

Più recentemente, il lavoro di Yusoff, Godsell e Woolley [18] ha contribuito a superare la frammentazione evidenziata da Schanes et al. [13], proponendo un framework integrato che collega in modo più diretto i determinanti comportamentali alle strategie operative di prevenzione dello

spreco domestico. Gli autori sottolineano come l'obiettivo di uno "zero waste system" richieda di spostare l'attenzione dalle pratiche di riuso o redistribuzione, come il food sharing, verso modelli di prevenzione a monte, fondati su pianificazione, consapevolezza e uso di tecnologie proattive.

2.2 Stato dell'arte: tecnologie digitali

Tra gli strumenti maggiormente studiati emergono le applicazioni mobili integrate, i sistemi di gestione digitale delle scorte, i frigoriferi intelligenti dotati di sensori e le piattaforme online per la condivisione o il recupero delle eccedenze alimentari. Queste soluzioni non si limitano a monitorare la disponibilità degli alimenti, ma possono intervenire lungo l'intero ciclo domestico, dalla pianificazione degli acquisti alla conservazione e al consumo, fino alla gestione degli avanzi.

Lo studio di Castro, Chitikova, Magnani, Merkle e Heitmayer [19] rappresenta un contributo teorico significativo in questo contesto, proponendo un modello integrato basato sull'approccio *Multilayered Installation Design (MID)*; gli autori sostengono che la frammentazione funzionale delle applicazioni esistenti limita l'impatto sul comportamento dei consumatori e propongono un'applicazione in grado di combinare gestione dell'inventario, notifiche di scadenza, suggerimenti di ricette e strumenti di condivisione, permettendo di agire sinergicamente sulle diverse fasi del ciclo alimentare domestico. In parallelo, Mastorakis et al. [20] descrivono FoodSaveShare, applicazione mobile che integra dati degli utenti, database di prodotti, algoritmi di suggerimento e sistemi di incentivi con test condotti su un campione di famiglie e in collaborazione con una catena di supermercati, i quali hanno mostrato come l'uso dell'applicazione possa influenzare positivamente le pratiche di consumo e ridurre gli sprechi e evidenziando, al contempo, l'importanza della motivazione dell'utente per garantire l'adozione.

Oltre alle applicazioni mobili e alle piattaforme digitali, la letteratura sottolinea anche il ruolo di sistemi data-driven nella riduzione dello spreco, come, ad esempio, lo studio di Woolley, Luo, Jellil e Simeone [21] che mostra come i modelli predittivi possano analizzare le abitudini di consumo e fornire raccomandazioni personalizzate, riducendo la discrezionalità individuale e supportando una gestione più efficiente e organizzata delle scorte.

Le piattaforme digitali per la condivisione e il recupero del cibo costituiscono un'ulteriore componente significativa del panorama tecnologico; Cane e Parra [22] nella loro ricerca analizzano le nuove tecnologie come piattaforme che facilitano lo scambio di avanzi e il riutilizzo di essi. Analogamente, il rapporto "Reducing Consumer Food Waste Using Green and Digital Technologies"

[23] fornisce una panoramica delle soluzioni disponibili, evidenziando sensori IoT, frigoriferi intelligenti, sistemi di monitoraggio e algoritmi che possono essere combinati per supportare la riduzione dello spreco e notano, tuttavia, che molte soluzioni rimangono spesso isolate confermando, quindi, la necessità di studi approfonditi sulla loro efficacia reale e sulla sostenibilità d'uso nel tempo.

Nonostante i recenti progressi, la letteratura evidenzia ancora alcune criticità ricorrenti; l'efficacia delle tecnologie è spesso valutata mediante metriche auto-riportate o in contesti pilota di breve durata, limitando l'affidabilità dei risultati ottenuti. Le funzionalità delle applicazioni sono spesso frammentate, trattando separatamente il monitoraggio delle scorte, le notifiche e i suggerimenti, senza una reale integrazione con dispositivi domestici o piattaforme; inoltre, barriere economiche, complessità d'uso, problemi di privacy e resistenza al cambiamento delle abitudini ne ostacolano l'adozione.

2.3 Integrazione dei domini e gap

Da un lato, le tecnologie digitali, come applicazioni mobili, dispositivi IoT e sistemi di raccomandazione basati su algoritmi intelligenti, offrono strumenti concreti per monitorare gli alimenti, ottimizzare la conservazione e suggerire strategie di consumo più efficaci; dall'altro, i comportamenti individuali, le routine domestiche, le norme culturali e le percezioni soggettive determinano il modo in cui queste tecnologie vengono effettivamente utilizzate, o talvolta ignorate.

Gli interventi tecnologici studiati si concentrano spesso su funzioni singole, come il monitoraggio delle scorte o l'invio di promemoria, senza considerare le dinamiche comportamentali che guidano l'acquisto e il consumo dei cibi e la maggior parte delle ricerche analizza strumenti o interventi per brevi periodi, con campioni ridotti e dati prevalentemente auto-compilati, impedendo di valutare con precisione l'impatto combinato di tecnologia e comportamento sullo spreco reale.

Dal punto di vista progettuale emergono alcuni gap: le tecnologie attuali raramente prevedono personalizzazioni in base alle abitudini o a vincoli nutrizionali e la maggior parte dei sistemi non fornisce un riscontro immediato sugli impatti ambientali dello spreco, elementi che potrebbero aumentare la consapevolezza e incentivare comportamenti più sostenibili, sottolineano la necessità di approcci integrati in grado di combinare strumenti digitali avanzati con strategie educative e motivazionali e di fornire informazioni facilmente interpretabili per il consumatore.

In questo contesto, Yusoff, Godsell e Woolley [18] propongono un framework integrato che collega in modo più diretto i determinanti comportamentali con strategie operative di prevenzione dello spreco domestico. Tale approccio evidenzia come gli interventi mirati alla prevenzione siano più efficaci di quelli basati sul riuso o sulla redistribuzione del cibo (ad esempio il food-sharing), fornendo un supporto teorico alla scelta progettuale di orientare il sistema verso azioni preventive piuttosto che correttive.

Capitolo 3 – Metodologia

3.1 Obiettivi della metodologia

La ricerca è stata sviluppata attorno a due dimensioni principali, quella tecnologica e quella comportamentale. La prima si concentra sull'analisi di strumenti digitali, come applicazioni mobili, piattaforme web, dispositivi IoT e sistemi basati su intelligenza artificiale, finalizzati al monitoraggio e alla gestione del consumo alimentare domestico, mentre la seconda riguarda lo studio dei comportamenti dei consumatori, delle pratiche quotidiane e delle routine domestiche che influenzano lo spreco.

3.2 Analisi della letteratura

3.2.1 Strategia di ricerca

La fase di identificazione è stata condotta attraverso una revisione sistematica secondo le linee guida PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [24], utilizzando il database Scopus per la sua ampia copertura interdisciplinare e l'affidabilità delle fonti indicizzate: la ricerca ha considerato paper pubblicati nell'intervallo temporale 2010–2025, coerente sia con l'affermazione delle tecnologie digitali nella vita quotidiana, sia con l'aumento dell'attenzione accademica verso la riduzione dello spreco alimentare e la sostenibilità. La strategia di ricerca è stata costruita per intercettare studi pertinenti ai tre temi concettuali principali della tesi, quali il fenomeno dello spreco alimentare, il contesto domestico e finale della filiera alimentare e la dimensione tecnologica: la query applicata a titolo, abstract e parole chiave è stata la seguente:

"food waste" AND ("household" OR "downstream" OR "customer") AND ("technolog" OR "platform" OR "app" OR "digital") AND NOT (crop OR "anaerobic digestion" OR "agriculture")

L'impiego dell'operatore asterisco per technolog* ha consentito di includere tutte le varianti lessicali del termine, come ad esempio technology, technologies o technological, ampliando la copertura della ricerca e riducendo il rischio di esclusione di contributi rilevanti. L'applicazione della query ha prodotto un primo set di 516 articoli, costituendo la base per le successive fasi di selezione e affinamento.

3.2.2 Criteri di inclusione ed esclusione

Per garantire trasparenza metodologica, ridurre il rischio di bias e assicurare la replicabilità dell'analisi [24], sono stati definiti criteri di inclusione ed esclusione chiari e operazionalizzabili. La selezione è stata circoscritta a studi appartenenti a specifiche aree disciplinari coerenti con gli obiettivi della ricerca, comprendendo Environmental Science, Engineering, Computer Science, Social Sciences ed Economics/Management, e limitata a tipologie documentali riconosciute come affidabili, quali articoli, conference paper, articoli peer-reviewed, review sistematiche.

Sono stati inclusi unicamente lavori che riportavano in maniera esplicita il contesto domestico e altro criterio fondamentale è stata la presenza di elementi tecnologici chiaramente identificabili, come applicazioni mobili, piattaforme web, sistemi IoT o algoritmi di intelligenza artificiale, riconosciuti come fattori di innovazione in ambito di sostenibilità domestica. Inoltre, al fine di garantire omogeneità linguistica, la selezione è stata ristretta a pubblicazioni in lingua inglese, con un arco temporale compreso tra il 2010 e il 2025.

Sono stati esclusi, invece, lavori condotti su fasi upstream della filiera alimentare, come produzione agricola, allevamento o processi bioenergetici, non pertinenti al contesto domestico e per rafforzare tale esclusione è stata introdotta una stringa di filtraggio negativa contenente i termini “crop”, “anaerobic digestion” e “agriculture”, che ha consentito di eliminare sistematicamente studi focalizzati su tali dinamiche non centrali rispetto agli obiettivi della presente tesi.

3.2.3 Processo di selezione degli studi

L'applicazione progressiva dei criteri di inclusione ed esclusione ha consentito di affinare in modo sistematico il corpus iniziale di 516 risultati. Dopo l'applicazione dei filtri disciplinari, che hanno ristretto il campo alle aree scientifiche più pertinenti, il set si è ridotto a 400 documenti. L'introduzione dei filtri per tipologia di pubblicazione, limitata ad articoli peer-reviewed, review e atti di conferenza, ha ulteriormente ridotto il corpus a 362 unità. Successivamente, la stringa di esclusione basata sui termini "crop", "anaerobic digestion" e "agriculture" ha consentito di eliminare studi non rilevanti, portando il numero a 289 documenti, destinati alla fase di screening.

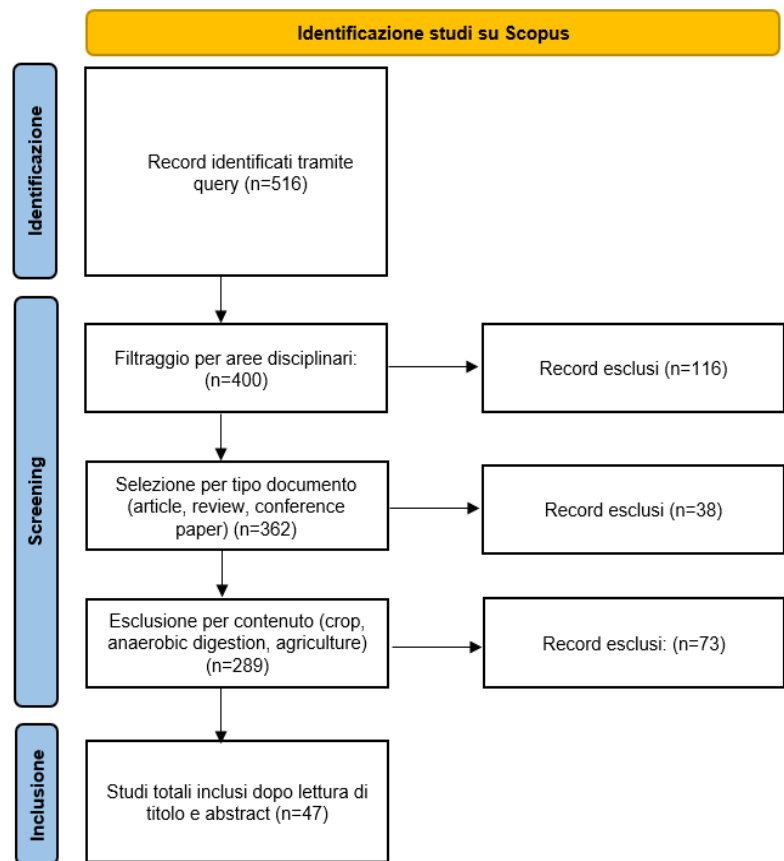


Figura 2: Processo di selezione articoli

Durante la valutazione di titolo e abstract, ciascun contributo è stato analizzato in relazione al contesto domestico e all'integrazione di un elemento digitale, mentre la lettura full-text ha consentito di verificare nel dettaglio la coerenza con gli obiettivi della ricerca. Al termine di questo processo multilivello, il corpus finale incluso nell'analisi è risultato composto da 47 articoli, che coprono entrambe le dimensioni centrali della tesi: da un lato le tecnologie digitali per la gestione alimentare domestica, dall'altro i fattori comportamentali e decisionali che influenzano lo spreco.

L'intero flusso di selezione è stato condotto e documentato secondo le linee guida PRISMA [24], garantendo trasparenza, replicabilità e tracciabilità delle motivazioni di esclusione dei documenti. Il diagramma PRISMA, illustrato in Figura 2, visualizza in forma sintetica l'intero processo, illustrando il flusso decisionale che ha guidato la riduzione progressiva del corpus iniziale fino alla definizione del campione finale.

3.2.4 Classificazione degli articoli

La fase di classificazione dei documenti selezionati rappresenta un passaggio centrale della metodologia, in quanto finalizzata a organizzare il corpus in modo sistematico, trasparente e coerente con gli obiettivi della ricerca. Per ciascuno degli studi inclusi sono stati analizzati campi specifici quali l'area di dominio disciplinare, la tipologia di tecnologia considerata, le misure di spreco adottate, gli approcci metodologici utilizzati, gli obiettivi dichiarati, i principali risultati e i limiti evidenziati dagli autori. Questa codifica ha consentito di ricondurre ogni contributo a un insieme comparabile di variabili, facilitando il confronto incrociato tra lavori appartenenti a contesti differenti.

Il processo classificatorio è stato di tipo induttivo, seguendo un approccio di content analysis qualitativa [25]. Le categorie tematiche non sono state stabilite a priori, ma sono emerse progressivamente dall'analisi dei testi completi, dei titoli e degli abstract, permettendo di cogliere la varietà di approcci tecnologici e comportamentali presenti in letteratura ed è risultato evidente che la maggior parte degli studi poteva essere ricondotta a tre aree di interesse principali, quali tecnologie digitali e applicazioni mobili, educazione, consapevolezza e gamification, e analisi comportamentali e sociodemografiche.

3.2.5 Identificazione semantica con BERTopic

A conferma dell'analisi qualitativa manuale condotta sui 47 articoli selezionati, è stato applicato il modello di topic modeling BERTopic, al fine di validare e rafforzare la classificazione induttiva effettuata: l'implementazione è stata realizzata in Python 3.11, con le librerie *BERTopic*, *NLTK* per la lemmatizzazione, *UMAP-learn* e *HDBSCAN* per la riduzione dimensionale e il clustering.

I titoli e gli abstract dei documenti sono stati sottoposti a una fase di preprocessing che ha incluso la conversione in minuscolo, la rimozione della punteggiatura, l'eliminazione di stopwords, la lemmatizzazione tramite il *WordNetLemmatizer* di NLTK ed è stata, inoltre, esclusa la ricorrenza dei termini "food" e "waste", in modo da evitare che dominassero la segmentazione dei cluster. Successivamente, la fase di topic modeling è stata condotta configurando BERTopic con i seguenti parametri principali *min_topic_size = 2*, *n_gram_range = (1, 3)* e *calculate_probabilities = True*, mentre la riduzione dimensionale è stata eseguita con UMAP e il clustering con HDBSCAN.

L'analisi ha restituito due cluster principali, coerenti con i risultati qualitativi. Il primo è stato caratterizzato da termini come *application*, *technology*, *mobile*, *design*, *intervention*, riconducibili a

studi sullo sviluppo e l'implementazione di soluzioni digitali, quali app mobili, sensori smart, piattaforme web., mentre il secondo ha evidenziato termini quali *factor*, *behaviour*, *driver*, *sociodemographic*, rappresentativi di contributi focalizzati su aspetti psicologici, sociali e culturali dello spreco alimentare domestico.

Ci sono stati 8 paper classificati come outlier, evidenziando la multidimensionalità di alcuni studi che affrontano simultaneamente aspetti tecnologici e comportamentali: l'istogramma dei topic generati da BERTopic, figura 3, mostra la distribuzione dei documenti per categoria.

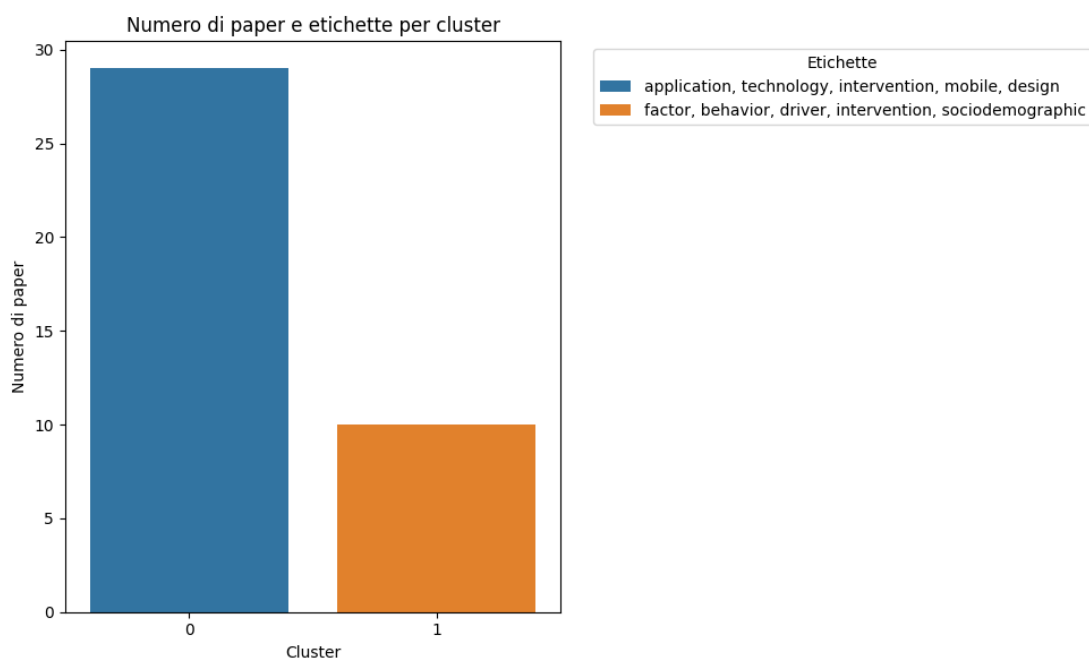


Figura 3: Output classificazione BERTopic

In sintesi, l'applicazione di BERTopic ha confermato e rafforzato i risultati dell'analisi manuale, evidenziando chiaramente la distinzione tra dimensione tecnologica e comportamentale, pur riconoscendo la presenza di studi con contenuti trasversali classificati come outlier. Questo approccio semantico offre quindi una validazione robusta della classificazione e fornisce un ulteriore livello di evidenza per la definizione dei temi principali affrontati nella tesi, supportando

l'integrazione delle due dimensioni analizzate. Il codice Python utilizzato per l'implementazione dell'algoritmo di BERTopic è riportato in Allegato 1.

3.3 Survey – raccolta requisiti

3.3.1 Analisi di mercato delle soluzioni digitali

La seconda fase della metodologia ha riguardato un'analisi delle soluzioni digitali attualmente disponibili per la riduzione dello spreco alimentare domestico, comprendendo applicazioni mobili e piattaforme web: l'indagine ha combinato la consultazione di app store principali, quali Apple App Store e Google Play Store.

Per ciascuna applicazione o piattaforma, sono stati registrati parametri chiave comprendenti la tipologia di tecnologia utilizzata, le funzionalità offerte, l'approccio metodologico sottostante come, ad esempio, monitoraggio delle scorte, ricette anti-spreco, educazione e sensibilizzazione, gamification e la disponibilità su diverse piattaforme.

L'analisi ha permesso di mappare i target di riferimento, identificando caratteristiche ricorrenti e funzionalità emergenti ed è stato possibile individuare le aree di maggiore maturità tecnologica, come il monitoraggio delle scorte e le notifiche automatiche, oltre a spazi ancora poco esplorati, come la gamification, la personalizzazione e le soluzioni integrate con sistemi di intelligenza artificiale per la pianificazione dei consumi domestici. Questo quadro ha costituito la base per la successiva fase di identificazione dei gap e dei punti di forza delle soluzioni esistenti, finalizzata a definire requisiti di intervento più mirati e a orientare la progettazione concettuale del prototipo.

3.3.2 Identificazione di gap e requisiti

A seguito dell'analisi di mercato delle soluzioni digitali, è stata condotta una fase comparativa finalizzata a codificare punti di forza e criticità delle piattaforme attualmente disponibili. I punti di forza emersi riguardano principalmente l'usabilità e la fruibilità delle interfacce, la concentrazione su funzionalità specifiche e la crescente integrazione con dispositivi IoT, che consente un'interazione più immediata e contestuale con gli strumenti digitali, tutte caratteristiche che supportano la gestione delle risorse alimentari, riducendo il carico cognitivo dell'utente e facilitando l'adozione di comportamenti sostenibili [21].

Parallelamente, sono stati identificati gap significativi, considerati rilevanti dal punto di vista metodologico e progettuale e tra questi, si annoverano il limitato coinvolgimento attivo dell'utente,

legato alla natura passiva di molte soluzioni, l'assenza o la scarsa applicazione di dinamiche di gamification e personalizzazione, la frammentazione delle funzionalità tra diverse piattaforme e la ridotta adozione di intelligenza artificiale per supportare decisioni e suggerimenti predittivi. Ciascun gap è stato codificato in termini di descrizione metodologica e potenziale opportunità di intervento, ponendo le basi per la successiva fase di validazione con utenti finali; in particolare, il focus metodologico è stato posto sulla capacità delle soluzioni di stimolare comportamenti continui e attivi, sulla personalizzazione dei contenuti in base alle abitudini e caratteristiche sociodemografiche, e sull'integrazione tra le diverse fasi della gestione domestica degli alimenti.

3.3.3 Validazione tramite survey

Per validare empiricamente i gap identificati nell'analisi di mercato e nella letteratura, è stata progettata e somministrata una survey rivolta a un campione di utenti domestici responsabili della gestione alimentare. La survey, concepita come strumento metodologico di raccolta dati, ha raccolto 88 risposte valide e ha avuto come obiettivo quello di verificare la rilevanza percepita delle principali barriere comportamentali e tecnologiche emerse, prioritizzare le funzionalità più utili da integrare nel prototipo e raccogliere indicazioni qualitative per guidare le scelte progettuali. Il questionario è stato strutturato in cinque sezioni: (A) profilo socio-demografico degli intervistati, comprendente genere, fascia d'età, composizione del nucleo abitativo, responsabilità nella spesa e frequenza degli acquisti; (B) abitudini alimentari e gestione del cibo, volto a rilevare strumenti utilizzati per il monitoraggio, frequenza di avanzzi e scadenze non rispettate, e strategie di gestione degli alimenti; (C) valutazione di funzionalità tecnologiche desiderate, tra cui promemoria di scadenza, suggerimenti di ricette, pianificazione dei pasti, notifiche predittive, statistiche sullo spreco, gamification e possibilità di condivisione; (D) preferenze d'uso, indagando facilità di utilizzo, personalizzazione, privacy e accessibilità; (E) opinioni aperte e suggerimenti per raccogliere insight aggiuntivi e identificare eventuali ostacoli all'adozione.

Le domande combinavano scale Likert (1–5), scelta multipla e risposte aperte, consentendo di ottenere dati quantitativi e qualitativi complementari. La survey comprendeva circa 20 domande, con un tempo medio di compilazione stimato di 5 minuti, ed è stata distribuita tramite link al google form. I dati raccolti hanno consentito di descrivere il profilo del campione, includendo famiglie, giovani lavoratori e studenti, e di collegare i bisogni emersi alle caratteristiche degli utenti finali. In particolare, le risposte alle sezioni C e D sono state aggregate in cluster, classificando ciascuna

risposta in utile, non utile o borderline, al fine di guidare la prioritizzazione dei requisiti funzionali nel prototipo.

L'analisi dei dati quantitativi è stata condotta mediante frequenze, percentuali e valori medi, mentre le risposte aperte sono state codificate qualitativamente per estrarre insight aggiuntivi sulle esigenze e preferenze degli utenti; i risultati ottenuti hanno permesso di collegare sistematicamente le evidenze empiriche ai gap individuati nella letteratura e nell'analisi di mercato, costituendo una base solida per le successive fasi di progettazione e prototipazione. La survey ha quindi svolto una funzione metodologicamente cruciale, assicurando tracciabilità, replicabilità e trasparenza, in linea con le best practice per studi applicativi nel contesto digitale e della riduzione dello spreco alimentare domestico.

3.4 Progettazione concettuale

3.4.1 Obiettivi progettuali

La progettazione concettuale del prototipo è stata definita sulla base dei gap emersi dalla letteratura, dall'analisi di mercato e dai dati raccolti tramite la survey somministrata agli utenti finali: l'obiettivo principale consiste nello sviluppo di un sistema digitale capace di supportare la gestione consapevole delle scorte alimentari domestiche e, più in generale, di contribuire alla riduzione dello spreco alimentare.

Il sistema è stato concepito per offrire strumenti di registrazione e monitoraggio degli alimenti disponibili, per tracciare le scadenze e generare notifiche predittive che avvisino l'utente quando un prodotto si avvicina alla data di consumo ottimale; a tali funzionalità si aggiunge la capacità di suggerire ricette personalizzate basate sugli alimenti presenti in casa, favorendo così l'utilizzo tempestivo delle risorse e incentivando pratiche di consumo sostenibile.

Sulla base dei risultati della survey e dell'analisi delle soluzioni digitali esistenti, il prototipo integra anche strumenti di gamification e meccanismi di incentivazione, progettati per stimolare l'uso continuativo dell'applicazione e rafforzare la motivazione al comportamento sostenibile; inoltre, il sistema offre funzionalità di visualizzazione di statistiche sul consumo e sullo spreco, con l'obiettivo di aumentare la consapevolezza dell'utente riguardo alle proprie abitudini domestiche.

3.4.2 Requisiti funzionali e non funzionali

Tra i requisiti funzionali principali si segnalano la registrazione e la gestione degli alimenti presenti in casa, il monitoraggio delle quantità disponibili e delle date di scadenza, nonché la generazione di notifiche volte ad avvisare l'utente sul consumo ottimale dei prodotti; il sistema deve, inoltre, offrire suggerimenti di ricette personalizzate in base agli alimenti presenti e produrre statistiche relative al consumo e allo spreco. Un elemento distintivo del progetto è l'integrazione di meccanismi di gamification, progettati per incentivare comportamenti sostenibili e stimolare un utilizzo continuativo dell'applicazione.

Per quanto riguarda i requisiti non funzionali, il sistema deve garantire elevati livelli di usabilità e accessibilità, con un'interfaccia intuitiva e semplice da utilizzare, adatta a utenti di diverse fasce d'età e competenze digitali. La scalabilità è un ulteriore aspetto critico: il prototipo deve poter essere esteso sia in termini di capacità del database, sia per l'integrazione di nuovi moduli e funzionalità, senza compromettere l'efficienza complessiva. La protezione dei dati personali e delle informazioni sulle abitudini alimentari degli utenti rappresenta un requisito imprescindibile, così come la coerenza e l'affidabilità nella gestione delle informazioni, indispensabili per garantire un utilizzo sicuro e continuo del sistema nell'ambiente domestico.

3.4.3 Architettura concettuale

L'architettura concettuale del prototipo è stata progettata secondo un modello modulare e integrato, finalizzato a conciliare funzionalità digitali avanzate con semplicità e intuitività d'uso.

L'applicazione rappresenta l'interfaccia principale con cui l'utente interagisce quotidianamente, consentendo l'inserimento dei prodotti alimentari, sia manualmente sia tramite scansione del barcode, la visualizzazione di notifiche relative alle scadenze e la consultazione di suggerimenti di ricette personalizzate; il database locale funge da archivio centrale delle informazioni sugli alimenti, registrando quantità disponibili, date di scadenza e storico dei consumi, garantendo dati sempre aggiornati e coerenti per il funzionamento degli altri moduli.

Il modulo di intelligenza artificiale, infine, elabora le informazioni provenienti dal database per generare raccomandazioni e notifiche predittive, considerando le preferenze dell'utente, le abitudini di consumo e le quantità disponibili. Tale approccio consente di ottimizzare l'utilizzo degli alimenti domestici e di ridurre gli sprechi, in linea con le strategie di consumo sostenibile evidenziate dalla letteratura.

3.4.4 Casi d'uso

Per descrivere in modo concreto il funzionamento del prototipo, sono stati sviluppati scenari operativi che rappresentano le principali modalità di interazione dell'utente con il sistema. In uno scenario tipico, l'utente scansiona un prodotto appena acquistato, permettendo all'applicazione di registrarlo automaticamente nel database locale; successivamente, il sistema calcola la data di scadenza e genera notifiche predittive alcuni giorni prima del termine ottimale di consumo. In un altro scenario possibile, l'utente seleziona gli alimenti disponibili in casa e il modulo di intelligenza artificiale elabora i dati per proporre ricette personalizzate, finalizzate a utilizzare in maniera ottimale i prodotti prossimi alla scadenza.

Un ulteriore caso prevede la consultazione di statistiche e report sul consumo e sullo spreco, con l'obiettivo di fornire indicazioni sui comportamenti sostenibili da adottare: in questo contesto, elementi di gamification offrono feedback motivazionali e supportano l'adozione continuativa dell'applicazione, favorendo il coinvolgimento dell'utente.

Questi scenari, definiti come user stories, consentono di rappresentare in maniera chiara l'applicazione dei requisiti funzionali, illustrando l'integrazione tra i diversi moduli tecnologici e la loro interazione con le pratiche quotidiane degli utenti, senza anticipare alcun risultato empirico o valutazione sull'efficacia del prototipo.

3.4.5 Linee guida di design

L'interfaccia dell'applicazione è stata concepita per essere chiara e immediata, con flussi logici e coerenti che accompagnano l'utente nella gestione delle scorte, nella ricezione delle notifiche e nella consultazione dei suggerimenti di ricette.

Le funzionalità digitali, inoltre, sono state sviluppate per integrarsi in maniera naturale nella routine domestica, stimolando l'adozione di pratiche virtuose e valorizzando l'interazione tra tecnologia e comportamento umano. Questo principio rispecchia le evidenze presenti in letteratura, secondo cui gli strumenti digitali più efficaci per la riduzione del food waste combinano supporto tecnologico e interventi comportamentali. L'attenzione alla semplicità d'uso, alla chiarezza dei flussi e alla rilevanza dei contenuti contribuisce a garantire un'esperienza utente intuitiva, sostenibile e adattabile a differenti contesti familiari e tipologie di consumatori.

3.5 Prototipazione

La fase di prototipazione rappresenta il momento conclusivo del percorso metodologico, in cui le evidenze teoriche e progettuali vengono tradotte in un prototipo concreto. Essa assume una funzione di validazione concettuale e tecnica del modello proposto, consentendo di verificare la coerenza tra i requisiti progettuali definiti nelle fasi precedenti e la loro effettiva implementazione in un ambiente operativo. In tale prospettiva, il prototipo è stato concepito come una web application sviluppata in linguaggio Python, destinata alla gestione intelligente delle scorte alimentari domestiche e alla riduzione dello spreco, attraverso l'integrazione di tecniche di intelligenza artificiale, strumenti analitici e meccaniche di coinvolgimento dell'utente.

La prototipazione ha seguito un modello evolutivo a fedeltà crescente, articolato in iterazioni centrate sull'introduzione progressiva delle funzionalità chiave del sistema. Ogni iterazione ha previsto la definizione dei casi d'uso minimi, l'implementazione verticale delle funzionalità e la verifica della loro coerenza con la struttura dati e con i requisiti identificati in fase analitica. I criteri di avanzamento del processo si sono fondati sul raggiungimento di un livello adeguato di completezza dei flussi operativi, sulla stabilità delle interfacce applicative e sulla consistenza informativa lungo l'intero percorso dispensa–ricette–piano pasti–lista spesa.

Dal punto di vista architetturale, il sistema è stato implementato attraverso un'architettura modulare di tipo client–server basata sul framework Flask; il backend è stato realizzato in Python, utilizzando SQLAlchemy per la gestione della persistenza dei dati e Flask-Login per le procedure di autenticazione e di session management. La logica applicativa è stata incapsulata in moduli distinti dedicati rispettivamente alla gestione dei percorsi di routing, alla definizione dei modelli di dominio e alla connessione con i servizi applicativi e la componente di intelligenza artificiale è stata integrata mediante le API Groq, che implementano modelli linguistici LLaMA per la generazione automatica di ricette, piani alimentari e suggerimenti di riutilizzo, garantendo al contempo la robustezza del sistema attraverso fallback deterministici in caso di indisponibilità del servizio esterno.

Il frontend è stato sviluppato mediante il motore di templating Jinja, in combinazione con componenti Bootstrap per la struttura visiva e Chart.js per la rappresentazione grafica degli indicatori di prestazione e dei trend di consumo. Le interazioni tra client e server sono state gestite attraverso richieste asincrone, che assicurano un aggiornamento dinamico dei contenuti e una maggiore fluidità dell'esperienza utente. Il modello dati, strutturato secondo logiche relazionali, descrive le

interconnessioni tra utenti, prodotti, liste, pasti e componenti di gamification, con supporto alle funzionalità collaborative tra membri di un medesimo nucleo familiare.

Dal punto di vista etico e di sicurezza, la prototipazione ha seguito i principi di *privacy-by-design*, con particolare attenzione alla protezione dei dati utente e alla minimizzazione delle informazioni trasmesse ai servizi esterni di intelligenza artificiale; infatti, le funzionalità AI sono chiaramente indicate all'interno dell'interfaccia, garantendo all'utente piena trasparenza e possibilità di scelta da parte dell'utente. La struttura del codice e delle configurazioni rispetta i criteri di riproducibilità e portabilità, assicurata dall'uso di ambienti configurabili tramite file .env, dallo script di inizializzazione del database e dall'astrazione fornita da SQLAlchemy.

Capitolo 4 – Risultati

4.1 Risultati della revisione

4.1.1 Classificazione dei risultati

La classificazione degli articoli selezionati rappresenta un passaggio cruciale per comprendere come la letteratura internazionale abbia affrontato il tema dello spreco alimentare domestico, sia sotto il profilo delle innovazioni tecnologiche, sia rispetto agli approcci comportamentali e socioculturali. L'analisi è stata condotta sul corpus finale di 47 articoli, organizzati in modo sistematico per garantire trasparenza, replicabilità e coerenza con gli obiettivi di ricerca.

Dall'analisi qualitativa emerge che il corpus più rappresentato è in ambito delle tecnologie digitali e applicazioni mobili con 29 articoli. Tale area tematica raccoglie studi che affrontano lo spreco alimentare domestico mediante strumenti tecnologici in grado di supportare i consumatori nella pianificazione, nel monitoraggio, nella gestione e nella condivisione del cibo.

Uno dei contributi più significativi in questa direzione è lo studio di Castro et al. [19], che propone un modello teorico basato sull'approccio Multilayered Installation Design (MID), volto a superare la frammentazione funzionale delle applicazioni tradizionali. L'applicazione integrata descritta dagli autori combina gestione dell'inventario, promemoria di scadenza, suggerimenti di ricette e funzioni di condivisione, promuovendo un'integrazione sinergica tra dimensione cognitiva e comportamentale dell'utente. In modo analogo, Mastorakis et al. [20] sviluppano e testano FoodSaveShare, un'app mobile che connette dati domestici e commerciali tramite algoritmi di suggerimento e incentivi gamificati. I risultati empirici dimostrano una riduzione misurabile dello spreco e una maggiore consapevolezza dei consumatori, pur evidenziando come la motivazione personale resti un elemento chiave per la continuità d'uso.

Più recentemente, la dimensione algoritmica e predittiva è approfondita da Woolley et al. [21], che introducono un approccio data-driven basato sull'analisi dei pattern di consumo domestico e sull'uso di modelli predittivi e, in prospettiva più ampia, Cane e Parra [22] esplorano, invece, il ruolo delle piattaforme digitali, evidenziando come le nuove tecnologie favoriscano modelli di redistribuzione e condivisione alimentare. Questi studi segnano un'evoluzione metodologica, passando dalla semplice integrazione funzionale a sistemi capaci di anticipare bisogni, personalizzare suggerimenti e

stimolare pratiche collaborative tra utenti, sottolineando come la tecnologia possa supportare strategie sia preventive sia di redistribuzione alimentare.

La seconda area “Educazione, consapevolezza e gamification” comprende 9 articoli e si concentra più su interventi educativi e motivazionali finalizzati a promuovere comportamenti di consumo sostenibili e una maggiore consapevolezza sulle conseguenze ambientali dello spreco domestico. La revisione sistematica di Santos, Sevivas e Carvalho [27] analizza in dettaglio l’uso della gamification e dei serious games nella prevenzione dello spreco alimentare: in questo contesto, gli autori evidenziano come punteggi, livelli di progresso e sfide sociali stimolino l’engagement e favoriscano un apprendimento attivo, incrementando consapevolezza specialmente tra fasce più giovani della popolazione. Al contempo, emergono però alcune criticità metodologiche legate alla breve durata dei progetti e alla prevalenza di misurazioni auto-risportate, suggerendo la necessità di futuri approfondimenti.

L’ultima area “Analisi comportamentale e sociodemografica” include 21 articoli che ricercano empiricamente i fattori psicologici, culturali e sociali associati allo spreco alimentare domestico: diversi studi quantitativi e comparativi hanno identificato pattern di spreco tra differenti segmenti di popolazione, evidenziando come caratteristiche sociodemografiche quali età, reddito, composizione familiare e contesto territoriale influenzino significativamente le pratiche di gestione del cibo [28]. Alcuni lavori hanno valutato l’efficacia di interventi mirati, come campagne educative o strategie comportamentali, evidenziando come la risposta vari in funzione delle abitudini, della motivazione personale e della sensibilità agli incentivi economici o ambientali [12]. La revisione sistematica di Schanes, Dobernig e Gözet [13] sottolinea ulteriormente la rilevanza delle differenze tra nuclei familiari numerosi e mononucleari, così come tra contesti urbani e rurali, per progettare interventi mirati e più efficaci. Queste evidenze confermano che ridurre lo spreco domestico richiede un approccio differenziato, sensibile ai contesti e capace di integrare conoscenze sul comportamento dei consumatori con misure concrete e replicabili di monitoraggio e valutazione.

La distribuzione degli articoli nelle tre aree tematiche è riassunta nella Tabella 1, che riporta il numero di articoli per ciascuna categoria, rendendo visibile il peso relativo di ciascun tema all’interno del corpus studiato.

	<i>Categoria</i>	<i>Num Articoli</i>
<i>Tecnologie</i>	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	29
	Educazione, Consapevolezza e Gamification	9
<i>Analisi comportamentale</i>	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	21

Tabella 1: Classificazione articoli

È importante notare che la somma degli articoli riportati nelle singole categorie supera il totale dei 47 studi analizzati, poiché alcuni articoli affrontano contemporaneamente più tematiche e, di conseguenza, sono stati classificati in più di una categoria.

Per visualizzare in modo immediato le relazioni tra le categorie, è stato realizzato un diagramma di Venn (Figura 4), in cui ciascuna area tematica è rappresentata da un cerchio distinto e le intersezioni evidenziano gli articoli che trattano simultaneamente più dimensioni. In questo modo, le sovrapposizioni nel diagramma mostrano chiaramente quali studi integrano approcci tecnologici, educativi e comportamentali, sottolineando la multidimensionalità della ricerca e la crescente consapevolezza della necessità di soluzioni integrate.

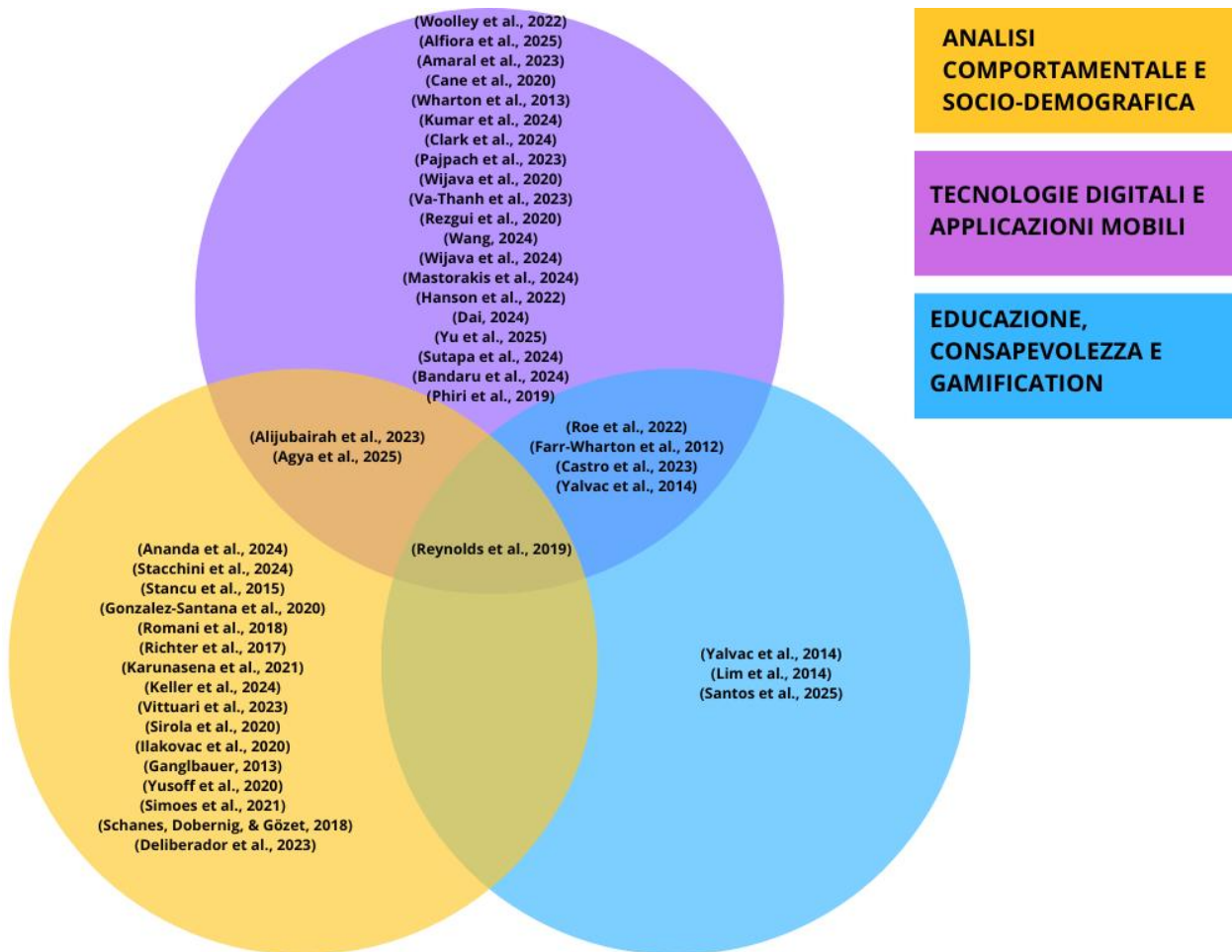


Figura 4: Diagramma di Venn per la classificazione degli articoli

Questa mappa tematica costituisce una base solida per l'analisi successiva dei gap (Sezione 4.2) e per la validazione mediante survey (Sezione 4.3), consentendo di identificare chiaramente dove la letteratura ha già offerto contributi significativi e dove permangono lacune ancora da colmare.

4.1.2 Gerarchia del food waste

La gerarchia del food waste rappresenta un modello strategico fondamentale per orientare gli interventi volti alla riduzione dello spreco alimentare che si articola in quattro livelli principali: prevenzione, riutilizzo e redistribuzione, riciclo e smaltimento. Nel contesto di questa tesi, la prevenzione e il riutilizzo sono stati considerati prioritari, mentre riciclo e smaltimento rappresentano strategie residuali, seppure rilevanti, per la gestione sostenibile degli scarti alimentari.

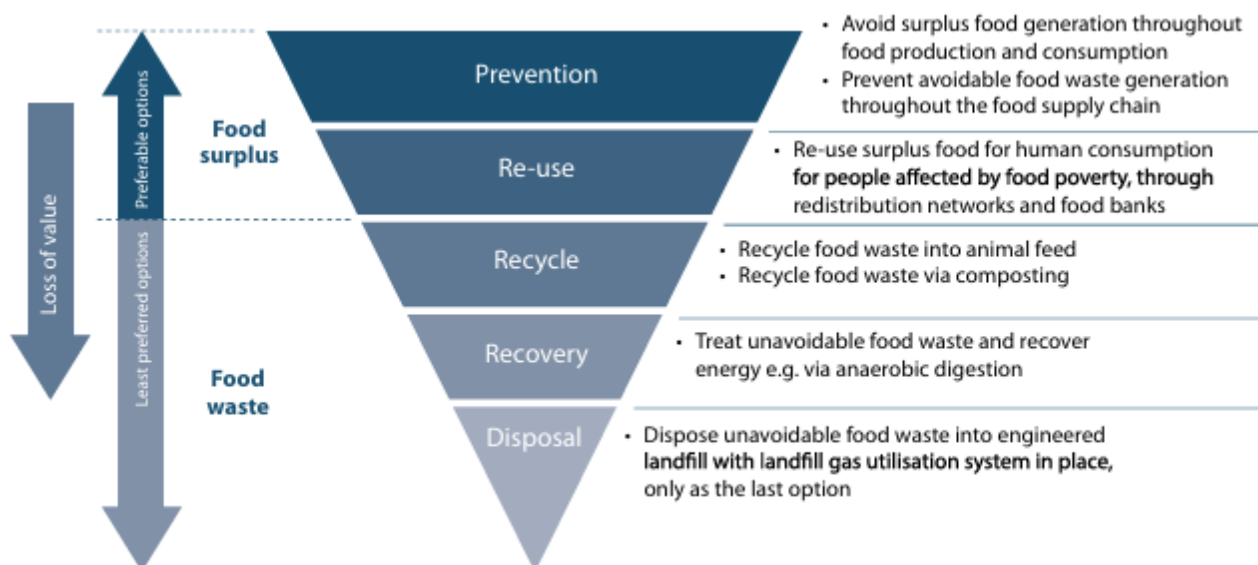


Figura 5: FW gerarchia

La Figura 5 illustra la gerarchia del food waste, tratta da [23] “Reducing Consumer Food Waste Using Green and Digital Technologies”, 2021 (pag. 96), che rappresenta un modello strategico di riferimento per la definizione delle politiche e degli interventi di riduzione dello spreco alimentare.

La prevenzione costituisce il fulcro della ricerca e si riferisce a tutte le strategie e tecnologie finalizzate a evitare la produzione di sprechi alimentari alla fonte, intervenendo sulle cause comportamentali e organizzative che ne sono all’origine. La letteratura evidenzia come le applicazioni digitali, quali app per la gestione intelligente della lista della spesa, sistemi di inventario domestico automatizzato, notifiche di scadenza e promemoria, rappresentino strumenti efficaci per supportare la pianificazione consapevole e la gestione ottimale delle risorse alimentari.

Il riutilizzo e la redistribuzione rappresentano il secondo livello della gerarchia, volto a valorizzare gli alimenti ancora utilizzabili e a favorire pratiche di condivisione o donazione al fine di evitarne lo spreco: le piattaforme digitali dedicate al food sharing, le applicazioni per la gestione degli avanzi e le iniziative di redistribuzione di eccedenze a beneficiari in condizioni di fragilità sociale si configurano come strumenti chiave per questa fase.

Riciclo e smaltimento rappresentano, infine, gli ultimi livelli della gerarchia e sono generalmente considerati interventi di residuale efficacia, attuati quando gli sprechi non possono essere evitati né riutilizzati. Il riciclo comprende processi di recupero come il compostaggio domestico o industriale e la produzione di biogas, che trasformano i rifiuti alimentari in risorse utili, riducendo l’impatto ambientale rispetto allo smaltimento tradizionale; lo smaltimento, invece, rappresenta l’opzione

meno auspicabile, in quanto comporta emissioni di gas serra e degrado ambientale associati alla discarica o all'incenerimento.

L'analisi quantitativa degli interventi individuati nella letteratura è rappresentata attraverso due diagrammi a torta distinti, i quali sintetizzano la distribuzione delle strategie di intervento focalizzate

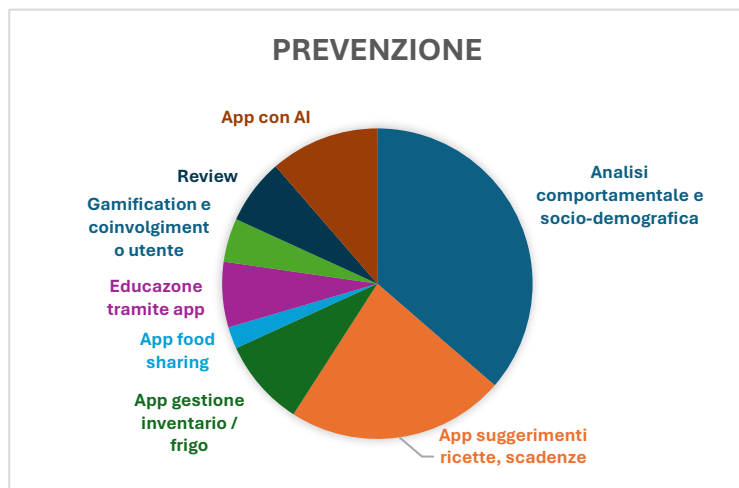


Figura 7: Diagramma Prevenzione

sulla prevenzione (figura 7) e sul riutilizzo (figura 6). Il primo diagramma, figura 7, mostra le soluzioni orientate alla prevenzione, che includono in particolare approcci di analisi comportamentale e sociodemografica, applicazioni mobili per suggerimenti ricette, promemoria di scadenze e gestione intelligente delle liste della

spesa, nonché sistemi di gestione inventario e funzioni di gamification volte al coinvolgimento attivo degli utenti. Il secondo diagramma, figura 6, evidenzia invece come le strategie di riutilizzo si concentrino maggiormente su applicazioni dedicate alla redistribuzione e al food sharing, affiancate da interventi educativi e da applicazioni che propongono ricette per il riutilizzo degli alimenti, sebbene in misura quantitativamente minore rispetto alle strategie preventive.

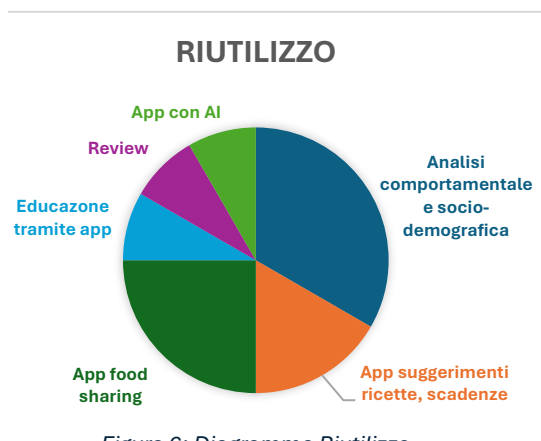


Figura 6: Diagramma Riutilizzo

Le tabelle seguenti, che approfondiscono le tecnologie impiegate per ciascun livello della gerarchia, sono ispirate alla classificazione proposta a pagina 27 del documento *Reducing Consumer Food Waste Using Green and Digital Technologies* [23], opportunamente adattata per riflettere la categorizzazione adottata nella presente ricerca.

PREVENZIONE - Tecnologie e funzioni mirate alla riduzione dello spreco alimentare domestico			
FW gerarchia	Approccio Tecnologico	Funzionalità chiave	Descrizione
Prevenzione	Digitale + AI	Ricette intelligenti e pianificazione pasti	Suggerimento di ricette in base agli ingredienti già presenti e alle date di scadenza al fine di evitare sprechi
Prevenzione	Digitale	Gestione scorte e lista della spesa	Inventario digitale e scadenze degli alimenti
Prevenzione	Digitale + AI	Raccomandazione acquisti ottimizzati	Algoritmi predittivi che consigliano cosa acquistare in base all'uso, alle scorte e alle abitudini
Prevenzione	Digitale + AI	Notifiche intelligenti	Avvisi su prodotti in scadenza o da riacquistare
Prevenzione	Digitale + IoT	Rilevamento automatico delle scorte	Utilizzo di sensori o fotocamere per monitorare gli alimenti in dispensa o frigo
Prevenzione	Digitale + IoT	Scansione automatica e etichettatura smart	Lettura di codice a barre e date di scadenza
Prevenzione	Digitale + Gamification	Educazione alle buone abitudini	Funzioni premianti per stimolare comportamenti virtuosi e ridurre lo spreco
Prevenzione	Digitale + Gamification	Feedback su impatto	Monitoraggio impatto e sprechi per una maggiore consapevolezza

Tabella 2: Tecnologie e funzionalità per la prevenzione dello spreco alimentare domestico

La tabella 2 relativa alle strategie di prevenzione presenta una sintesi delle principali tecnologie e funzionalità adottate per ridurre gli sprechi alimentari in ambito domestico: le soluzioni analizzate si caratterizzano per un forte impiego di approcci digitali integrati con intelligenza artificiale (AI), Internet of Things (IoT) e tecniche di gamification, al fine di supportare e incentivare comportamenti consapevoli.

RIUTILIZZO - Tecnologie per la redistribuzione e il riutilizzo di alimenti in eccesso			
FW gerarchia	Approccio Tecnologico	Funzionalità chiave	Descrizione
Riutilizzo	Digitale	Condivisione alimenti tra utenti	App per donare o scambiare cibo tra privati
Riutilizzo	Digitale + Sociale	Reti per donazioni	Piattaforme che ridistribuiscono il cibo verso associazioni
Riutilizzo	Digitale + Retail	Acquisto a prezzo scontato	App che consentono di acquistare prodotti prossimi alla scadenza a prezzo agevolato

Tabella 3: Tecnologie e funzionalità per il riutilizzo e la redistribuzione degli alimenti

La tabella dedicata al riutilizzo, tabella 3, riassume le principali tecnologie e funzionalità che supportano la redistribuzione e il riutilizzo degli alimenti non consumati, in linea con i principi dell'economia circolare e della sostenibilità.

Queste tecnologie, pur rappresentando una quota minore rispetto alle soluzioni preventive, giocano un ruolo cruciale nella valorizzazione degli alimenti eccedenti e nella promozione di pratiche di consumo più responsabili e solidali.

4.1.3 Fasi dello spreco domestico

Per comprendere la complessità del food waste domestico, la letteratura scientifica suddivide il ciclo alimentare in fasi principali, facilitando l'identificazione delle criticità, delle cause di spreco e delle soluzioni digitali più efficaci. La seguente tabella, tabella 4, segue le cinque fasi principali del ciclo domestico: pianificazione, acquisto, conservazione, preparazione, consumo.

Fase	N. Articoli	Categorie d'intervento	Ragioni dello spreco	Soluzioni digitali	Obiettivo
Pianificazione	21	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili, Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	- Mancanza lista della spesa[22] - Poca consapevolezza delle scorte[22] - Scarsa comunicazione	- lista della spesa smart[22] - Inventario automatico[21] - Notifiche[23]	Prevenzione sprechi prima dell'acquisto
Acquisto	7	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	- Acquisti impulsivi [21], [23] - Scelte influenzate da	- Suggerimenti mirati[21] - Alert anti-spreco[20]	Evitare acquisti eccessivi o errati

			promozioni - Formati eccessivi	- Notifiche su inventario[23]	
Conservazione	18	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	- Frigorifero disorganizzato[29] - Conservazione mal gestita[30]	- Frigo smart / sensori[30] - Etichette smart - Notifiche su scadenze	Migliorare la gestione e la durata degli alimenti
Preparazione	22	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	- Porzioni eccessive[12] - Cotture errate - Errore di conservazione[31] - Scarsa conoscenza ricette con cibo presente in dispensa[32]	- Suggerimento ricette con porzioni personalizzate - Tutorial di cucina - Calcolatori dosi	Evitare avanzati e piatti scartati promuovendo una cucina più consapevole
Consumo	27	Educazione, Consapevolezza e Gamification, Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili, Analisi Comportamentale e Socio-Demografica, Review della Letteratura e Studi Teorici	- Avanzi post-pasto[28] - Porzioni eccessive[12]	- Reminder per consumare avanzati[20] - Condivisione alimenti[32], [33] - Gamification[27]	Ridurre sprechi dopo la preparazione

Tabella 4: Fasi del consumo alimentare, cause dello spreco e soluzioni digitali associate

La fase di pianificazione rappresenta il primo snodo critico: in questo momento, decisioni errate o superficiali, come la mancata redazione di una lista della spesa o una scarsa consapevolezza delle scorte alimentari già presenti, si traducono facilmente in sprechi successivi [22], [21]. L'assenza di coordinamento familiare o la comunicazione inefficace tra i membri del nucleo domestico aggrava ulteriormente il problema [19].

Interventi digitali come liste della spesa condivise, notifiche intelligenti e sistemi di inventario automatizzato risultano efficaci per migliorare la pianificazione [20], [19].

Durante l'acquisto, il comportamento del consumatore è spesso condizionato da impulsi, promozioni commerciali aggressive e packaging in formati non ottimali [12], [20]; ciò si traduce frequentemente in acquisti eccessivi o non adeguati ai bisogni reali, con conseguente aumento del rischio di spreco.

Per contrastare tali dinamiche, la letteratura propone l'utilizzo di applicazioni mobili che forniscono alert anti-spreco, suggerimenti d'acquisto mirati basati su scorte residue o cronologia degli acquisti, e strumenti per monitorare l'inventario domestico in tempo reale [21], [23]: soluzioni che mirano a evitare acquisti errati o eccessivi, aumentando la consapevolezza al momento della spesa.

Una volta acquistati, gli alimenti devono essere conservati in condizioni ottimali per evitare deterioramenti prematuri: errori comuni includono la disorganizzazione del frigorifero, una scarsa conoscenza delle tecniche di conservazione e la difficoltà nel monitorare la scadenza dei prodotti [29], [30].

Tecnologie smart come frigoriferi con sensori, etichette digitali e app con notifiche sulle scadenze si sono dimostrate strumenti efficaci per ottimizzare la gestione del cibo e prolungarne la shelf-life [31]. Queste soluzioni intervengono direttamente sul momento critico che precede il deterioramento fisico del prodotto, contribuendo a minimizzare lo spreco invisibile.

Nella fase di preparazione, lo spreco deriva spesso da una porzionatura errata, da cotture inadatte o da una bassa conoscenza di ricette per il riutilizzo degli ingredienti disponibili [34], [32]. Le famiglie tendono a cucinare più del necessario oppure evitano di utilizzare ingredienti prossimi alla scadenza per mancanza di idee o tempo.

Soluzioni digitali che offrono ricette basate sulle scorte domestiche, tutorial di cucina, calcolatori automatici delle porzioni, e menu settimanali personalizzati permettono di ridurre il margine di errore e incoraggiano una cucina più efficiente [35], [21] con l'obiettivo di ridurre gli scarti generati durante la preparazione promuovendo una gestione creativa e consapevole degli ingredienti.

Infine, la fase del consumo rappresenta il momento in cui lo spreco diventa evidente: avanzi non riutilizzati, piatti lasciati a metà o porzioni eccessive sono cause ricorrenti [28], [12]. Anche in questo caso, gli strumenti digitali si dimostrano utili: promemoria per il consumo degli avanzi, app per la condivisione del cibo in eccesso [33], e meccanismi di gamification che incentivano pratiche virtuose possono contribuire a ridurre gli sprechi a valle del processo [27]. Questa fase richiede inoltre un intervento educativo, volto a consolidare abitudini sostenibili nel lungo termine [15].

4.1.4 Tecnologie e funzionalità mappate

L'indagine condotta sulla letteratura scientifica e sulle applicazioni digitali attualmente disponibili ha restituito una panoramica delle soluzioni tecnologiche orientate alla mitigazione dello spreco alimentare in ambito domestico, facendo emergere tre funzionalità, corrispondenti a tre tipologie principali di risposta allo spreco, centrali:

1. la gestione delle scorte
2. il meal planning
3. il food sharing.

La gestione delle scorte alimentari rappresenta una delle aree più esplorate e si fonda sull'idea che una maggiore visibilità e tracciabilità degli alimenti già presenti in casa possa influenzare positivamente i comportamenti di acquisto e di consumo; molte applicazioni permettono agli utenti di catalogare gli alimenti disponibili, monitorarne la data di scadenza e ricevere notifiche intelligenti in prossimità del deterioramento, contribuendo così a una migliore rotazione delle scorte [19], [20].

Il meal planning personalizzato, seconda macro-funzionalità ricorrente, si configura come uno strumento utile a prevenire l'acquisto impulsivo e a promuovere un consumo alimentare coerente con gli effettivi bisogni del nucleo familiare. Diverse app analizzate propongono suggerimenti di ricette basati sugli ingredienti già disponibili o in scadenza, automatizzano la generazione di liste della spesa ottimizzate e guidano l'utente verso un'organizzazione settimanale dei pasti più consapevole [26].

Il terzo ambito funzionale è quello del food sharing [33], ovvero la condivisione volontaria di alimenti in eccesso. Alcune piattaforme permettono agli utenti di offrire o ricevere gratuitamente cibo che altrimenti verrebbe sprecato, favorendo forme di economia circolare su scala locale. Questo approccio integra finalità ambientali con istanze di solidarietà sociale, ed è spesso collegato ad attività di volontariato o partnership con enti di recupero.

In termini di tecnologie implementate, la prevalenza del mobile application, per smartphone e tablet, si spiega con la loro facilità d'uso e flessibilità di aggiornamento; anche l'Internet of Things (IoT) gioca un ruolo sempre più rilevante, soprattutto nelle cosiddette "smart kitchens" con sensori applicati a frigoriferi, contenitori o scaffali che monitorano temperatura, umidità e quantità in tempo reale, inviando dati alle app collegate per migliorare la gestione delle scorte e prevedere i punti critici di deperimento. La computer vision è invece utilizzata per automatizzare l'identificazione degli

alimenti attraverso la scansione visiva degli oggetti o delle etichette, riducendo la necessità di input manuale da parte dell'utente e abbassando così le barriere d'adozione.

Va, tuttavia, sottolineato che molte delle soluzioni esistenti tendono a focalizzarsi su una sola funzionalità specifica, risultando spesso frammentarie o parzialmente integrate con le reali abitudini degli utenti.

4.1.5 Classificazione delle app esistenti

La classificazione delle applicazioni digitali rivolte alla riduzione dello spreco alimentare domestico costituisce un elemento essenziale per comprendere l'ampiezza e la profondità delle soluzioni tecnologiche oggi disponibili, nonché per valutare il loro potenziale impatto e le relative criticità; attraverso l'analisi delle app, emergono alcune dimensioni fondamentali che permettono di inquadrare efficacemente le diverse soluzioni tramite le funzionalità offerte, il target di utenti a cui si rivolgono e gli indicatori chiave di performance (KPI) utilizzati per misurare i risultati raggiunti.

Le funzionalità delle applicazioni si articolano principalmente attorno a tre grandi gruppi. La prima categoria riguarda gli strumenti per la gestione delle scorte alimentari, che facilitano il monitoraggio degli alimenti presenti in dispensa o frigorifero, l'identificazione delle date di scadenza, la notifica preventiva per evitare sprechi e la pianificazione degli acquisti in funzione delle esigenze reali. Tali strumenti si avvalgono spesso di interfacce intuitive e integrazioni con dispositivi smart per ottimizzare l'organizzazione domestica [26]. La seconda categoria è rappresentata dalle app dedicate al meal planning o pianificazione dei pasti, che propongono ricette, suggeriscono menù settimanali e consentono di programmare l'acquisto degli ingredienti in modo più mirato, contribuendo così a ridurre gli sprechi derivanti da una gestione poco consapevole della spesa e del consumo. Infine, esistono applicazioni focalizzate sul food sharing che promuovono la condivisione delle eccedenze alimentari tra utenti o gruppi locali con un impatto sociale positivo nella riduzione degli scarti.

L'analisi del target evidenzia come le applicazioni siano progettate per differenti tipologie di utenti: molte app si rivolgono al consumatore domestico medio, offrendo strumenti semplici e accessibili che non richiedono competenze tecniche specifiche, mentre altre puntano a utenti più consapevoli o "early adopters" di tecnologie smart, proponendo funzionalità avanzate come l'integrazione con sensori IoT, algoritmi di intelligenza artificiale per la previsione dei consumi, o meccanismi di gamification per incentivare comportamenti virtuosi.

La Tabella 5 (riportata di seguito) sintetizza la classificazione delle applicazioni digitali rivolte alla riduzione dello spreco alimentare domestico, distinguendole in base alla tipologia, alla funzione chiave, agli esempi più rappresentativi e alle note sintetiche relative alle principali caratteristiche funzionali.

Tipologia app e gerarchia	Funzione Chiave	App Esemplificative	Note Sintetiche
Gestione domestica del cibo - Prevenzione	Liste della spesa smart	AnyList, Plan To Eat, No Waste, Pepperplate, Pantry, toTable, 7Dish	Pianificazione pasti e acquisti, a volte con suggerimenti AI
	Inventario e scadenze	No Waste, Pantry, UBO, Foodless, SmartFridge 2.0, Exspiro, FoodSaveShare, Kolkas, PucciFrigo, Plus Fridge Pal, toTable, Eatchafood	Gestione scorte, scadenze e notifiche, spesso tramite barcode o AI
	Ricette da ingredienti disponibili	Magic Fridge, Half Lemons, Empty the Fridge, Eat you later, MyKura, weSAVEeat, Eatchafood	Uso creativo degli avanzi, riduzione sprechi
	Suggerimenti e AI	7Dish, SmartFridge 2.0, MyKura, Eatchafood, Kolkas	AI per ottimizzazione pasti, spesa e conservazione
	Gamification e feedback	FoodFighters, FoodChain, MySusCof, Euphoria, FridgeSort, PadovaGoGreen	App educative, sostenibilità, comportamenti virtuosi
	Monitoraggio impatto ambientale	Evocco, FoodImage, MySusCof	CO ₂ , scelte d'acquisto sostenibili, tagging motivi dello spreco
	Contenuti e cultura culinaria	FoodNosher	Ricette, educazione alimentare e storytelling gastronomico
Redistribuzione - Riutilizzo	Donazione peer-to-peer	OLIO, iFoodShare, FoodSharing.de, S-Cambia Cibo	Scambio tra cittadini, necessità di comunità attiva
	Donazione verso enti	FoodCloud, EquoEvento	Destinate al recupero eccedenze da eventi o negozi di grandi dimensioni
	Vendita a prezzo ridotto	Too Good To Go, Eatme, LastMinuteSottoCasa, MyFoody	Cibo invenduto a fine giornata o prossimo alla scadenza
	Ibridi o modelli integrati	FoodChain, Too Good To Go	Sistemi misti: acquisto + educazione o sharing economy gamificata

Tabella 5: Sintesi classificazione applicazioni digitali

Nella categoria principale della gestione domestica del cibo e prevenzione dello spreco, si osserva un forte orientamento verso la facilitazione di processi decisionali più consapevoli da parte degli utenti. Le app che offrono liste della spesa intelligenti (come AnyList e Plan To Eat) non solo aiutano a pianificare gli acquisti in modo più mirato, ma spesso integrano sistemi di suggerimenti personalizzati basati su intelligenza artificiale, capaci di analizzare abitudini di consumo e preferenze individuali per prevenire acquisti superflui o eccessivi.

Parallelamente, le applicazioni focalizzate su inventario e scadenze (ad esempio No Waste, Pantry, FoodSaveShare) si caratterizzano per l'implementazione di sistemi di monitoraggio in tempo reale che permettono agli utenti di mantenere una gestione accurata delle scorte, riducendo il rischio di deterioramento e scarto involontario degli alimenti; attraverso l'integrazione di tecnologie di riconoscimento barcode e, più recentemente, di intelligenza artificiale e computer vision, consentono una registrazione automatica e una previsione efficace delle date di scadenza, favorendo interventi tempestivi.

L'approccio creativo alla riduzione degli sprechi passa anche attraverso applicazioni che promuovono l'utilizzo degli ingredienti disponibili per la preparazione di ricette ad hoc (ad esempio Magic Fridge, Half Lemons); funzione che, non solo stimola una maggiore valorizzazione delle risorse alimentari, ma contribuisce a modificare le abitudini di consumo, promuovendo un uso più flessibile e innovativo degli alimenti in casa.

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale è un aspetto sempre più rilevante, con app come 7Dish e MyKura che offrono funzionalità avanzate di ottimizzazione di pasti, spesa e conservazione, basandosi su algoritmi in grado di apprendere dai dati degli utenti: questo livello di personalizzazione rappresenta una frontiera promettente per la lotta allo spreco, poiché consente di adattare le soluzioni alle specifiche esigenze e contesti familiari, aumentando così la probabilità di adozione e successo.

Un ulteriore elemento innovativo è rappresentato dalla gamification, presente in app come FoodFighters e PadovaGoGreen, che utilizza meccaniche di gioco per incentivare comportamenti virtuosi, metodo che si è dimostrato efficace nel promuovere la consapevolezza e l'engagement degli utenti, favorendo cambiamenti duraturi nei comportamenti legati al consumo e alla gestione del cibo.

Le applicazioni che monitorano l'impatto ambientale (Evocco, MySusCof) offrono una prospettiva più ampia, collegando le azioni quotidiane di riduzione degli sprechi a questioni globali di

sostenibilità ambientale, come la riduzione delle emissioni di gas serra e l'uso più efficiente delle risorse naturali.

Sul fronte della redistribuzione e del riutilizzo, le applicazioni si dividono in modelli di donazione peer-to-peer (OLIO, FoodSharing.de), che favoriscono lo scambio diretto tra cittadini, e sistemi orientati alla donazione verso enti no-profit o alla vendita a prezzo ridotto di eccedenze alimentari (Too Good To Go, FoodCloud); tuttavia, la loro efficacia dipende fortemente da una rete attiva e partecipativa, dalla facilità d'uso delle piattaforme e da adeguate politiche di supporto istituzionale.

In sintesi, questa classificazione mette in luce la necessità di un approccio multidimensionale per contrastare efficacemente lo spreco alimentare domestico, combinando innovazioni tecnologiche con interventi di sensibilizzazione e coinvolgimento sociale.

4.1.6 Modelli di economia circolare applicati

L'economia circolare rappresenta un paradigma strategico fondamentale nella lotta allo spreco alimentare domestico, poiché propone un modello di produzione e consumo in cui il valore delle risorse è mantenuto il più a lungo possibile, riducendo al minimo gli scarti. Diversamente dal modello lineare tradizionale, che prevede una sequenza diretta di estrazione, trasformazione, consumo e smaltimento, l'approccio circolare promuove cicli rigenerativi in grado di prolungare la vita utile dei beni, degli alimenti e dei materiali [36]. Nel contesto domestico, ciò si traduce in una serie di pratiche interconnesse che includono il consumo consapevole, il recupero e la redistribuzione delle eccedenze e, laddove possibile, la valorizzazione degli scarti organici.

La prevenzione dello spreco rappresenta la prima e più rilevante linea d'azione che si realizza attraverso il miglioramento delle pratiche quotidiane di pianificazione, conservazione e utilizzo degli alimenti. Soluzioni come *No Waste*, *SmartFridge 2.0* e *UBO* dimostrano come la digitalizzazione possa accompagnare l'utente nell'assunzione di scelte più sostenibili, riducendo il rischio di acquisti ridondanti e migliorando la consapevolezza sull'uso delle risorse domestiche.

Un secondo fronte d'intervento è costituito dalla redistribuzione del cibo in eccesso: quando la prevenzione non è sufficiente e si generano surplus alimentari, le tecnologie possono facilitare il trasferimento di tali risorse verso chi ne ha bisogno. Piattaforme come *OLIO*, *iFoodShare* e *S-Cambia Cibo* permettono lo scambio peer-to-peer di prodotti ancora consumabili tra cittadini, contribuendo non solo alla riduzione dello spreco, ma anche alla costruzione di comunità più solidali, mentre altre soluzioni, come *Too Good To Go* o *LastMinuteSottoCasa*, abilitano forme ibride di circolarità

economica, incentivando il recupero di alimenti invenduti attraverso offerte scontate presso esercizi commerciali locali: in questi modelli, la sostenibilità si intreccia con logiche di mercato, generando benefici distribuiti per consumatori, esercenti e ambiente.

4.2 Sintesi integrata dei risultati e fattori comportamentali

La comprensione approfondita delle cause comportamentali è fondamentale per progettare interventi mirati e soluzioni tecnologiche efficaci, capaci di favorire una gestione più consapevole ed efficiente del cibo [15], [28]: la letteratura evidenzia come fattori culturali, norme sociali e valori condivisi influenzino direttamente le pratiche di consumo, condivisione e donazione degli alimenti, sottolineando la necessità di un approccio multidimensionale che integri tecnologia, educazione e strategie comportamentali.

La revisione dei 47 articoli selezionati ha permesso di identificare i principali fattori comportamentali responsabili dello spreco domestico, le cause sottostanti e le strategie proposte per mitigarlo. Tra i fattori più ricorrenti si segnalano gli acquisti eccessivi o d'impulso, spesso associati a una scarsa pianificazione e a promozioni ingannevoli; questo comportamento determina l'accumulo di alimenti non consumati e aumenta il rischio di deterioramento prima dell'uso. La letteratura suggerisce, in questi casi, che strumenti digitali come sistemi per il monitoraggio delle scorte, liste della spesa intelligenti e notifiche personalizzate possano fungere da leve di nudging efficaci, guidando decisioni di acquisto più consapevoli e riducendo lo spreco [22].

La disorganizzazione nella conservazione degli alimenti rappresenta un altro fattore critico: infatti, la disposizione inefficace e la dimenticanza dei prodotti conducono spesso a scarti prematuri [13]. In questo contesto, soluzioni digitali che integrano sensori e funzioni di inventario assistito permettono di mantenere una gestione ordinata e visibile delle scorte, aumentando la probabilità di consumo degli alimenti prima della scadenza [13], [14].

Un ulteriore fattore determinante è la scarsa consapevolezza sulle quantità, sulle porzioni e sulle date di scadenza; la confusione su questi elementi limita la capacità dell'utente di utilizzare in maniera efficiente le risorse disponibili. Interventi educativi combinati a feedback dinamici e meccaniche di gamification hanno dimostrato di migliorare l'engagement e promuovere comportamenti più virtuosi [27], analogamente, una pianificazione inadeguata, con disconnessione tra programmazione dei pasti e acquisti effettuati, contribuisce a generare sprechi, così come la

gestione inefficace degli avanzi. Applicazioni che suggeriscono ricette basate sugli ingredienti disponibili e liste della spesa intelligenti si configurano come strategie promettenti per ridurre tali inefficienze.

La confusione interpretativa delle etichette alimentari costituisce un'ulteriore causa di spreco: la distinzione tra indicazioni quali "da consumarsi preferibilmente entro" e "da consumarsi entro" [12] genera scarti prematuri per timore di consumare prodotti ancora commestibili; in questi contesti, l'uso di scanner, sistemi di inventario smart e interventi educativi sul significato reale delle etichette viene indicato come soluzione efficace [14].

Infine, fattori legati alla sovrapposizione tra le attività quotidiane e alla frequenza degli acquisti possono compromettere una gestione efficiente del cibo: routine intense [13], tempo limitato e acquisti poco frequenti o in grandi quantità aumentano il rischio di spreco, mentre sistemi digitali che semplificano la gestione della dispensa, con reminder e notifiche, riducono il tempo e lo sforzo richiesti, aumentando la probabilità di comportamenti sostenibili.

<i>Fattore comportamentale</i>	<i>Causa principale</i>	<i>Strategia suggerita</i>	<i>Soluzione tecnologica proposta</i>
<i>Acquisti eccessivi [20] o d'impulso [15][23]</i>	<i>Mancanza di pianificazione[20] / promozioni ingannevoli[14]</i>	<i>Monitoraggio delle scorte e supporto alla pianificazione[22], raccomandazioni personalizzate, educazione al consumo</i>	<i>Integrazione lista della spesa e suggerimenti automatici basati sulle scorte, notifiche[22]</i>
<i>Conservazione disorganizzata</i>	<i>Disposizione inefficace e dimenticanza dei prodotti [13]</i>	<i>Ottimizzazione del metodo di conservazione[13], [14]</i>	<i>Sistema di gestione digitale della dispensa o frigorifero [13], [29]</i>
<i>Scarsa consapevolezza[22]</i>	<i>Ignoranza su data di scadenza, quantità reali e porzioni [37]</i>	<i>Educazione, feedback e sensibilizzazione[27]</i>	<i>Gamification e interfacce intuitive [27]</i>
<i>Pianificazione inadeguata[23], [34]</i>	<i>Mancanza di organizzazione degli acquisti[23], [34]</i>	<i>Raccomandazioni personalizzate e notifiche</i>	<i>Ricette basate su ciò che si ha in dispensa, lista della spesa intelligente[13]</i>
<i>Avanzi non gestiti</i>	<i>Abitudini a cucinare porzioni eccessive [12], [13]; poco riutilizzo</i>	<i>Incentivi a condividere il cibo, porzioni controllate[12], [13], riutilizzo creativo degli avanzi</i>	<i>App per riutilizzare avanzi, food sharing,</i>

	<i>balance intelligenti[14]</i>		
<i>Confusione su etichette e scadenze [12]</i>	<i>Difficoltà nel distinguere le etichette ("da consumarsi preferibilmente" vs "entro")[12]</i>	<i>Etichette semplici da leggere ed educazione sul significato [14]</i>	<i>Scanner etichette e gestione inventario smart</i>
<i>Sovrapposizione tra pratiche alimentari e altri impegni[23] [13]</i>	<i>Tempo limitato, routine intense[13]</i>	<i>Semplificare la gestione della dispensa e degli avanzi</i>	<i>Sistemi smart per l'inventario e reminder</i>
<i>Frequenza di acquisto[14]</i>	<i>Acquisti troppo rari e in grandi quantità[14]</i>	<i>Acquistare più frequentemente e con una lista[14]</i>	<i>App per lista della spesa e suggerimenti ottimali</i>

Tabella 6: Sintesi fattori comportamentali: cause principali e soluzioni tecnologiche proposte

Dall'analisi emerge chiaramente che l'efficacia degli interventi è massima quando le componenti tecnologiche sono integrate con strategie educative e comportamentali, creando sinergie che influenzano positivamente le pratiche quotidiane. La tabella 6, sopra riportata, derivata dall'analisi dei fattori comportamentali, permette di evidenziare le aree in cui le soluzioni esistenti risultano incomplete e di definire i gap prioritari da colmare e funge da ponte narrativo, collegando le evidenze empiriche ai contributi teorici discussi nel Capitolo 2, e costituisce una base solida per la progettazione di interventi digitali nel Capitolo 5, in linea con gli obiettivi progettuali della ricerca.

4.3 Requisiti funzionali e gap rilevati

Le soluzioni digitali dedicate alla riduzione dello spreco alimentare a livello domestico si configurano come strumenti con potenzialità significative, capaci di agire su un ambito cruciale per la sostenibilità ambientale ed economica. Tra i punti di forza più evidenti di queste tecnologie si annovera la loro semplicità d'uso, che si traduce in un'interfaccia user-friendly e in un approccio progettuale che privilegia l'accessibilità anche per utenti meno esperti dal punto di vista digitale: questa caratteristica è fondamentale per garantire un'adozione diffusa e continuativa, superando barriere legate a competenze tecnologiche o reticenze iniziali [20] [15]. Inoltre, la concentrazione su funzioni ben definite, quali la gestione dell'inventario, il monitoraggio delle scadenze, la pianificazione dei pasti o la redistribuzione delle eccedenze, permette di focalizzare l'efficacia operativa su specifiche criticità, facilitando una risposta mirata e tangibile [29], [34].

Nonostante gli aspetti positivi, la letteratura e le evidenze empiriche mettono in luce diverse criticità rilevanti, che ne limitano l'impatto complessivo e suggeriscono ambiti di miglioramento. Un primo

limite riguarda il carattere spesso passivo di tali applicazioni che tendono a fornire informazioni o notifiche, ma raramente riescono a stimolare un coinvolgimento attivo e duraturo dell'utente: questo comporta che, dopo un primo utilizzo o un periodo iniziale di attenzione, la frequenza e la qualità dell'interazione diminuiscono, riducendo di conseguenza l'efficacia delle strategie di riduzione dello spreco: studi recenti indicano come l'assenza di feedback dinamici, sistemi di ricompense o meccaniche di gamification contribuisca a un calo dell'engagement, sottolineando l'importanza di un design esperienziale che promuova l'interazione sociale e la partecipazione attiva [29], [37].

Inoltre, la scarsa presenza di elementi di gamification e di personalizzazione rappresenta una lacuna significativa: la gamification, con meccaniche quali sfide, premi, badge e livelli di progresso, ha dimostrato in numerosi ambiti la sua efficacia nel favorire cambiamenti comportamentali sostenibili, oltre a favorire l'engagement dell'utente.

Un ulteriore ostacolo risiede nella frammentazione delle soluzioni, che spesso si focalizzano su fasi isolate del ciclo alimentare domestico, quali l'acquisto o la conservazione, senza offrire un quadro integrato che supporti l'utente lungo l'intero percorso dalla pianificazione alla valorizzazione degli scarti [19]. Il superamento di questa criticità implica la progettazione di piattaforme integrate, che connettano in modo fluido gestione dell'inventario, pianificazione, suggerimenti personalizzati, monitoraggio e reportistica di consumo e spreco, offrendo un'esperienza coerente e continuativa.

Infine, la limitata adozione dell'intelligenza artificiale per supportare decisioni predittive rappresenta un'area critica che attende sviluppi significativi: la letteratura più recente evidenzia come l'AI possa giocare un ruolo fondamentale nell'anticipare comportamenti a rischio di spreco, nel suggerire azioni preventive e nell'adattare dinamicamente le raccomandazioni, basandosi sull'analisi di grandi quantità di dati eterogenei [35][21]. L'implementazione di sistemi di intelligenza artificiale avanzati può pertanto trasformare radicalmente la gestione domestica del cibo, passando da un modello reattivo a uno predittivo, con benefici potenziali rilevanti per la sostenibilità ambientale, economica e sociale.

Oltre agli aspetti tecnologici, è importante sottolineare che la riduzione dello spreco alimentare dipende fortemente da fattori psicologici, sociali e culturali che interagiscono con l'uso delle tecnologie digitali [28], [15]. Il successo delle soluzioni tecnologiche, pertanto, non può prescindere da un approccio multidisciplinare, che integri componenti educative, strategie di comunicazione

efficaci e politiche di supporto, così da promuovere una reale trasformazione dei comportamenti individuali e collettivi.

La tabella 7 presentata sintetizza in modo efficace i principali gap riscontrati nelle attuali soluzioni digitali per la gestione dello spreco alimentare domestico, evidenziando al contempo le opportunità di intervento per superarli.

Gap rilevato	Descrizione	Opportunità di intervento
Scarso coinvolgimento dell'utente	Molte soluzioni sono passive, non stimolano comportamenti attivi e continui	Coinvolgimento tramite UX/feedback, community, meccaniche di interazione sociale[38]
Assenza di gamification/personalizzazione	Poche soluzioni usano dinamiche ludiche o suggerimenti adattivi personalizzati	Integrare premi, sfide, badge e algoritmi personalizzati per dieta/abitudini dell'utente[27]
Soluzioni poco integrate	App e tecnologie si concentrano su una sola fase (acquisto, gestione o consumo)	Sviluppare ecosistemi integrati: pianificazione, inventario, suggerimenti e log di spreco[19]
Bassa adozione di AI per decisioni proattive	L'intelligenza artificiale è poco usata per anticipare comportamenti e sprechi	Sfruttare AI per notifiche predittive, consigli dinamici, alert prima della scadenza [35]

Tabella 7: Gap rilevati e opportunità di intervento

4.4 Risultati della survey di validazione

Al fine di validare empiricamente i gap funzionali e comportamentali individuati attraverso l'analisi della letteratura, è stata condotta una survey tramite Google Form rivolta a un campione di 88 partecipanti. L'indagine aveva l'obiettivo di approfondire le abitudini alimentari domestiche, le difficoltà nella gestione delle scorte e le percezioni relative all'utilità di specifiche soluzioni digitali orientate alla riduzione dello spreco alimentare. Tale approccio ha consentito di mettere in relazione le evidenze teoriche con le reali esigenze degli utenti, generando dati utili per la definizione dei requisiti progettuali successivi.

Il campione analizzato risulta composto prevalentemente da donne (71,4%) e in misura minore da uomini (28,6%), con una netta prevalenza della fascia d'età compresa tra i 18 e i 24 anni (61,4%). Seguono, in ordine decrescente, le classi 45–54 anni (17%), 25–34 anni (9,1%), 35–44 anni (8%) e una quota marginale di soggetti oltre i 55 anni. La maggior parte dei rispondenti vive in contesti

condivisi o familiari, come coppie, famiglie con figli, studenti fuori sede, mentre una minoranza dichiara di vivere da sola. Il profilo che emerge è dunque quello di un'utenza giovane-adulta, digitalmente alfabetizzata, ma caratterizzata da ritmi di vita dinamici e routine domestiche frammentate: un target coerente con la finalità esplorativa del progetto, in quanto rappresentativo di utenti potenzialmente sensibili ma non ancora pienamente coinvolti nella gestione digitale del cibo.

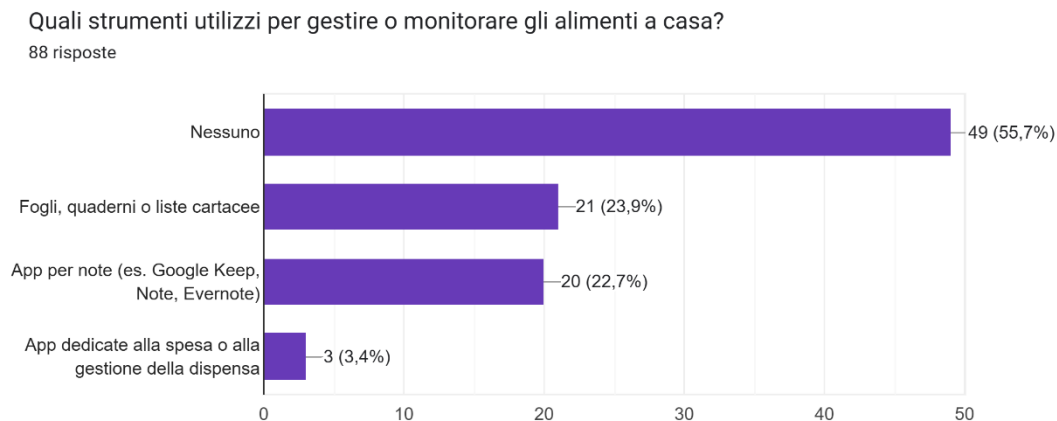


Figura 8: Risultati survey domanda 6

Dall'analisi delle risposte, riportata in figura 8, si evince che oltre la metà degli intervistati (55,7%) non utilizza alcuno strumento per monitorare gli alimenti presenti in casa, mentre il 23,9% si affida a liste cartacee e il 22,7% ad app non specificamente dedicate, come note o promemoria. Solo una minima percentuale, pari al 3,4%, dichiara di servirsi di applicazioni progettate appositamente per la gestione della dispensa o della spesa. Tale dato conferma una bassa digitalizzazione delle pratiche domestiche, coerente con le evidenze emerse in letteratura, e suggerisce che la potenziale introduzione di un'applicazione dedicata rappresenti per molti utenti un ambito ancora inesplorato, ma dotato di potenzialità concrete.

Con quale frequenza, in media, ti capita che gli alimenti scadano prima di essere consumati?
88 risposte

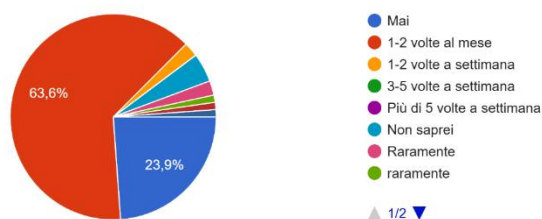


Figura 10: Risultati domanda 8 survey

La frequenza dichiarata dello spreco alimentare, figura 9, conferma questa tendenza: il 63,6% degli intervistati afferma che alcuni alimenti scadono “una o due volte al mese” prima del consumo, mentre il 23,9%

dichiara che ciò “non capita mai”.

Per quanto riguarda gli avanzzi, figura 10, il 39,8% riferisce di trovarsi in questa situazione “una o due volte al mese” e il 22,7% “una o due volte a settimana”. La maggior parte

Con quale frequenza, in media, ti capita di avanzare del cibo?
88 risposte

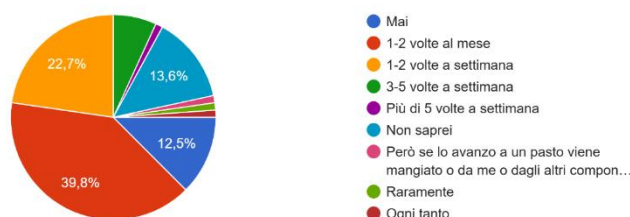


Figura 9: Risultati domanda 9 survey

tende tuttavia a riutilizzare o conservare il cibo avanzato, segnalando una predisposizione favorevole a comportamenti virtuosi che potrebbero essere rafforzati da strumenti digitali di supporto.

Per ciascuna delle seguenti funzionalità, indica quanto la consideri utile.

(Scala da 1 = Per niente utile a 5 = Molto utile)

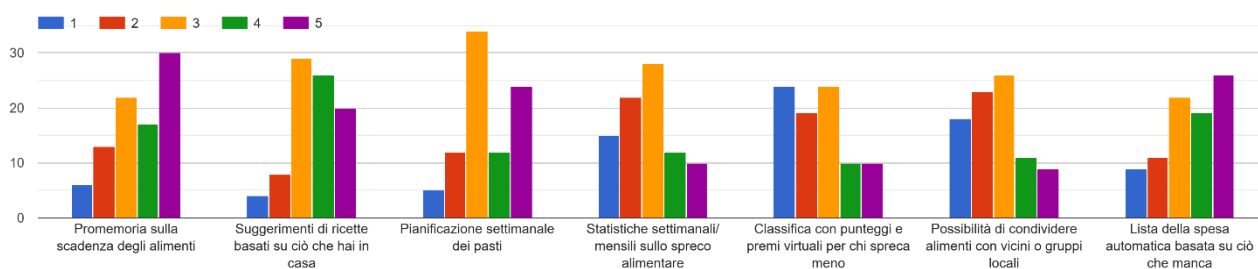


Figura 11: Risultati survey sezione C

Nel valutare l'utilità delle diverse funzionalità digitali proposte, gli intervistati hanno espresso le proprie preferenze su una scala Likert da 1 (per nulla utile) a 5 (molto utile). Le risposte raccolte, figura 11, evidenziano una chiara gerarchia di priorità, che consente di distinguere tra funzionalità percepite come essenziali, complementari o marginali. In particolare, le notifiche relative alla scadenza dei prodotti (media 4,7/5) e la lista della spesa automatica basata sulle scorte residue (4,5/5) risultano le più apprezzate, considerate strumenti concreti e immediatamente funzionali alla riduzione dello spreco. Seguono i suggerimenti di ricette a partire dagli ingredienti disponibili e la

pianificazione settimanale dei pasti (entrambe 3,8/5), percepite come utili ma non indispensabili. Al contrario, funzioni come la condivisione di alimenti in eccesso con vicini o comunità locali (3,3/5) e la generazione di statistiche di consumo o spreco (3,1/5) appaiono interessanti ma secondarie, mentre le componenti ludiche o di gamification, basate su premi o classifiche, ricevono valutazioni sensibilmente più basse (2,2/5).

Tali risultati confermano che gli utenti privilegiano la semplicità e l'efficacia immediata rispetto a elementi di coinvolgimento simbolico o competitivo. Le soluzioni più apprezzate sono quelle che rispondono a bisogni pratici e riducono il rischio di dimenticanze o acquisti ridondanti, confermando la centralità di un design orientato alla funzionalità quotidiana piuttosto che alla dimensione sociale o ludica. Questa tendenza, già evidenziata nella letteratura sul comportamento digitale domestico, suggerisce che la sfida progettuale principale non risieda tanto nell'ampliare le funzionalità, quanto nel rendere fluide e intuitive quelle essenziali.

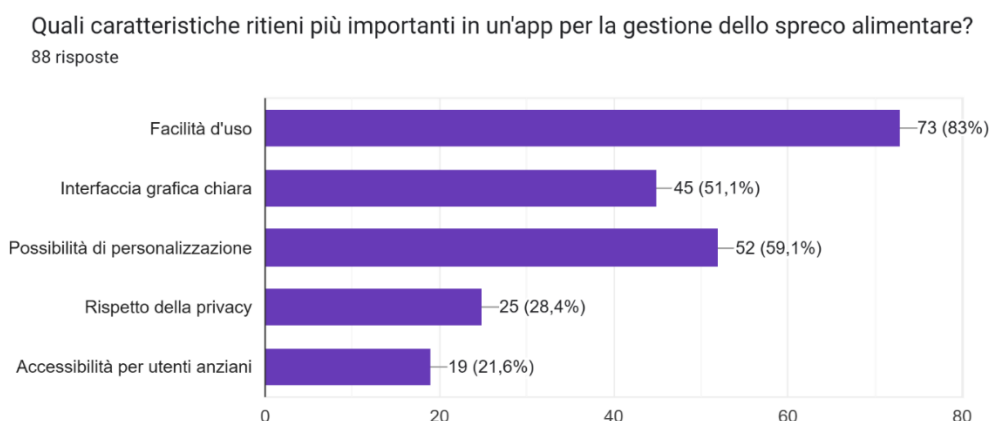


Figura 12: Risultati survey sezione D

Dall'analisi qualitativa delle risposte aperte, fornite da oltre metà dei partecipanti, emergono ulteriori elementi interpretativi. Le principali barriere all'adozione, riassunta nella Tabella 8, di applicazioni di questo tipo riguardano la complessità percepita dell'interfaccia (34%), la difficoltà di mantenere costanza d'uso (20%) e la necessità di inserire manualmente i dati (8%). Altri fattori, come le notifiche troppo frequenti o i problemi di memoria dei dispositivi, vengono citati con minore incidenza. È significativo che solo una percentuale marginale degli intervistati (2%) indichi limiti tecnologici personali, segnalando che la questione non è di accesso o competenza, ma di convenienza percepita: in altre parole, molti utenti non percepiscono un ritorno sufficiente rispetto

allo sforzo richiesto per mantenere aggiornata l'applicazione. I risultati sono di seguito, riassunti in formato tabellare.

Categoria emersa	% sul totale	Esempi di risposte
Usabilità / Complessità / Interfaccia	34%	"Interfaccia poco chiara", "app confusionaria", "La complessità dell'app"
Tempo / Costanza d'uso	20%	"Il tempo che manca", "Non lo ricorderei", "La costanza di dovermi ricordare..."
Nessuna / Non so (nessuna barriera percepita)	16%	"Non so", "Nulla" (x2), "Nessuna", "Non saprei", "Niente", "Nessuno scoraggiamento"
Inserimento manuale / Dati	8%	"Inserimento dati manuale", "dover inserire manualmente ogni alimento", "Caricare l'elenco..."
Notifiche / Costi / Memoria / Pubblicità	8%	"Le notifiche insistenti", "se fosse a pagamento", "Occupare memoria"
Scarsa utilità / Motivazione	6%	"Preferisco variare...", "Vedere che non porta a un cambiamento..."
Barriere tecnologiche personali	2%	"Non brava tecnologicamente"

Tabella 8: Barriere emerse

La percezione di semplicità, la chiarezza visiva e la minimizzazione degli input manuali diventano elementi centrali per garantire un'esperienza sostenibile nel tempo; allo stesso modo, l'integrazione di funzioni predittive e personalizzate, basate sull'intelligenza artificiale, può contribuire a rafforzare la continuità d'uso, rendendo la tecnologia capace di anticipare i bisogni anziché reagire ad azioni esplicite.

In sintesi, i risultati della survey non si limitano a descrivere le abitudini degli utenti, ma forniscono indicazioni operative per la fase progettuale successiva: le funzionalità più apprezzate, come lista intelligente e suggerimenti di ricette, costituiranno il nucleo del prototipo concettuale.

Capitolo 5 – Progettazione concettuale

5.1 Progettazione del sistema: principi e obiettivi

La fase di progettazione del sistema rappresenta un momento centrale nel percorso metodologico della ricerca, poiché costituisce la traduzione operativa delle evidenze teoriche ed empiriche in una soluzione digitale coerente e orientata all'azione. Dopo l'identificazione dei gap nella letteratura e nelle soluzioni esistenti, e la validazione empirica attraverso la survey, la progettazione si propone di definire una struttura logica e funzionale capace di rispondere ai bisogni individuati, promuovendo comportamenti sostenibili e riducendo lo spreco alimentare domestico.

Questa fase costituisce il punto di convergenza tra la dimensione interpretativa, fondata sulla comprensione dei comportamenti e delle motivazioni degli utenti, e la dimensione costruttiva, orientata alla definizione di un artefatto tecnologico utile, intuitivo e significativo.

La progettazione segue i principi del *user-centered design*, secondo cui ogni scelta architettuale, estetica e funzionale deriva dall'osservazione e dalla comprensione del contesto d'uso reale. In tale prospettiva, l'utente non è soltanto destinatario del sistema, ma parte attiva del processo progettuale, la cui esperienza e motivazione orientano le decisioni tecniche e interattive. L'obiettivo è costruire un ambiente digitale capace di adattarsi alle abitudini e alle preferenze individuali, piuttosto che imporre nuove modalità di comportamento.

La struttura concettuale del sistema è configurata come un ecosistema digitale modulare, costituito da componenti interconnessi che cooperano per favorire una gestione consapevole delle scorte alimentari e prevenire lo spreco; in questa fase tali componenti vengono definiti a livello logico e funzionale, come un sistema di gestione dei dati, un modulo di analisi e suggerimento, un'interfaccia orientata alla semplicità d'uso e un insieme di meccanismi di gamification per il coinvolgimento dell'utente, progettando questi elementi in modo integrato per garantire coerenza esperienziale e flessibilità evolutiva.

Dal punto di vista metodologico, la progettazione mira a definire un sistema flessibile, scalabile e adattabile, in grado di evolversi nel tempo attraverso estensioni funzionali e aggiornamenti incrementali; la modularità del design consente di mantenere distinti i diversi livelli di astrazione, facilitando interventi mirati e preservando la sostenibilità tecnica nel lungo periodo. Allo stesso tempo, l'attenzione all'usabilità, intesa secondo la definizione dell'ISO 9241-11 [39] come capacità

di un sistema di permettere agli utenti di raggiungere i propri obiettivi con efficacia, efficienza e soddisfazione, rappresenta un criterio guida costante.

La progettazione del sistema si configura, in definitiva, come un'operazione di mediazione tra rigore metodologico e sensibilità esperienziale. Essa si fonda sui principi dell'ingegneria dei requisiti e della progettazione centrata sull'utente, ma riconosce la dimensione relazionale della tecnologia e il suo potenziale trasformativo. L'interfaccia e le funzionalità sono pertanto concepite non solo come strumenti di utilità operativa, ma come mediatori di comportamenti e significati, capaci di promuovere consapevolezza e partecipazione.

In sintesi, questa fase definisce il quadro metodologico e concettuale entro cui verrà sviluppato il prototipo nella successiva fase di lavoro. Le componenti delineate rappresentano la base su cui si fonderà l'implementazione sperimentale, che consentirà di verificare la coerenza e la validità del modello progettuale nel contesto d'uso previsto.

5.2 Architettura logica del sistema

L'architettura logica del sistema rappresenta la formalizzazione operativa del modello concettuale elaborato nella fase di progettazione, traducendo i requisiti funzionali e non funzionali in una struttura coerente, scalabile e metodologicamente fondata. Essa costituisce la base strutturale del progetto *FoodFlow*, concepito per integrare in modo sinergico le dimensioni tecnologica, comportamentale e informativa al fine di supportare pratiche domestiche più sostenibili e consapevoli.

L'architettura è concepita secondo un modello multilivello articolato in cinque componenti principali, Stakeholders Layer, Presentation Layer, Logic Layer, Data Layer ed External Data Sources, che cooperano attraverso flussi informativi integrati e meccanismi di retroazione continua, riflettendo una visione sistemica della progettazione, in cui la tecnologia non è intesa come un insieme di moduli isolati, ma come una rete dinamica di relazioni tra utenti, dati e processi.

Alla base del sistema si colloca il livello degli *stakeholder*, che definisce i principali destinatari e co-produttori di valore del servizio. *FoodFlow* si rivolge prevalentemente a famiglie e studenti, due categorie accomunate dall'esigenza di ottimizzare la gestione delle risorse alimentari e di ridurre gli sprechi nel contesto quotidiano. Per le famiglie, la piattaforma funge da strumento di pianificazione e monitoraggio, favorendo un'organizzazione efficiente delle scorte e una maggiore consapevolezza dell'impatto ambientale delle proprie abitudini di consumo; per gli studenti e i giovani adulti, si

configura come supporto operativo e formativo, orientato a promuovere decisioni alimentari più equilibrate e sostenibili.

Il *Presentation Layer* costituisce l'interfaccia diretta tra sistema e utente e rappresenta il punto di accesso alle principali funzionalità della piattaforma; è progettato secondo i principi dello *user-centered design* e della norma ISO 9241-11 sull'usabilità, al fine di garantire un'esperienza d'uso intuitiva, accessibile e coerente con le capacità cognitive e le esigenze dell'utente finale. Questo livello si articola in quattro principali *entry point*, corrispondenti ai bisogni ricorrenti nella gestione alimentare domestica:

- “Cosa cucino con ciò che ho?”, che offre suggerimenti di ricette personalizzate sulla base degli ingredienti disponibili e delle relative scadenze;
- “Cosa scade entro 3 giorni?”, che attiva raccomandazioni per il consumo prioritario degli alimenti prossimi alla scadenza;
- “Genera lista spesa dal piano pasti”, che automatizza la pianificazione settimanale integrando preferenze, budget e obiettivi nutrizionali;
- “Sto riducendo CO₂e / €?”, che consente di visualizzare l'impatto ambientale ed economico delle proprie scelte alimentari.

Questi entry point non solo definiscono l'esperienza utente, ma fungono anche da *trigger logici* per i moduli di ragionamento del livello sottostante, garantendo coerenza e integrazione tra l'interfaccia e i processi di ottimizzazione, analisi e suggerimento.

Il *Logic Layer*, o *Reasoning & Intervention Layer*, rappresenta il nucleo cognitivo e operativo del sistema; in esso si integrano i moduli che trasformano i dati raccolti in conoscenza utile e azioni personalizzate. Al suo interno, si trova l'*Inventory Intelligence*, che gestisce dinamicamente la dispensa digitale e il ciclo di vita dei prodotti; il *Meal-plan Optimizer*, che genera piani alimentari adattivi basati su vincoli nutrizionali e preferenze personali; il *Suggeritore di Ricette*, fondato su algoritmi di intelligenza artificiale e su regole di *reasoning* semantico; i moduli di *Nudging* e *Gamification*, che supportano l'engagement e l'adozione di comportamenti sostenibili e, infine, il modulo di *Analisi dell'impatto ambientale*, che quantifica i benefici in termini di spreco evitato e riduzione di emissioni.

Il *Data Layer* costituisce la base informativa dell'intero sistema, garantendo la coerenza, la sicurezza e la persistenza dei dati che comprende un *Operational Database* per la gestione dei dati correnti come inventario, scadenze, liste della spesa.

La progettazione del livello dati è improntata ai principi di *data integrity*, *referential consistency* e *transactional reliability*, assicurando prestazioni elevate e conformità normativa. Particolare attenzione è riservata alla sicurezza e alla privacy, in linea con il Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR), adottando un approccio di *privacy by design* e *privacy by default* [40], con cifratura dei dati sensibili, gestione granulare dei ruoli e tracciabilità delle operazioni.

Infine, il livello delle *External Data Sources* amplia l'ecosistema informativo dell'applicazione, integrando dati provenienti da chiamate API e dati su nutrizione.

Questa scelta architetturale consente di mantenere il *Data Layer* interno leggero, aggiornato e conforme ai principi di *data governance by design*, distinguendo tra conoscenza pubblica e informazione personale. I dati dell'utente, quali inventario, abitudini, sprechi e preferenze, rimangono pertanto memorizzati localmente, garantendo il pieno controllo e la trasparenza nel trattamento.

I flussi informativi che attraversano i diversi livelli sono rappresentati nella *Figura 13*, che illustra graficamente l'architettura logica del sistema *FoodFlow*; le frecce continue indicano i flussi interni di informazione tra i moduli principali, mentre quelle tratteggiate rappresentano le connessioni verso le fonti esterne.

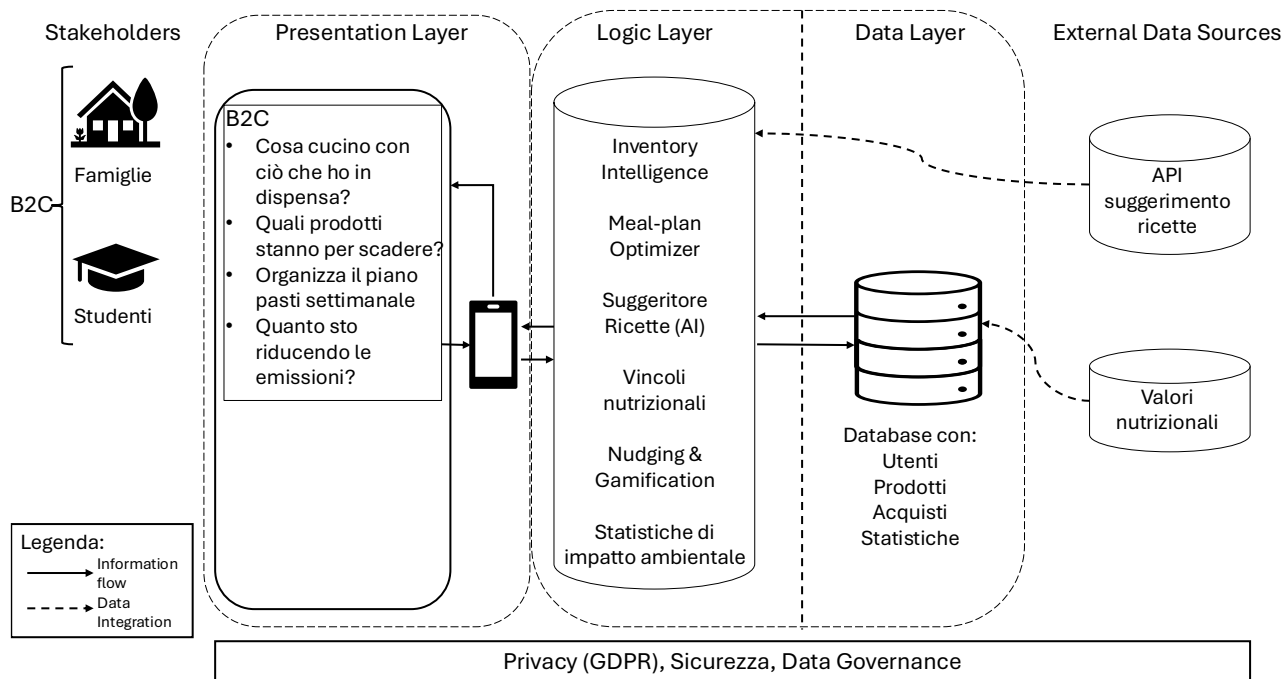


Figura 13: Architectural diagram

Nel suo insieme, l'architettura logica del sistema *FoodFlow* si configura come una piattaforma concettualmente unitaria ma tecnicamente modulare, in grado di coniugare usabilità, efficienza e sicurezza con la flessibilità necessaria a supportare futuri sviluppi; essa non rappresenta una configurazione statica, bensì un modello adattivo e scalabile, capace di evolversi attraverso l'integrazione di nuovi moduli, come algoritmi di riconoscimento visivo o sistemi predittivi basati su *machine learning*, senza compromettere la coerenza e la solidità del disegno complessivo. Tale impianto metodologico costituisce la base per la successiva fase di prototipazione, nella quale il modello architettonico verrà tradotto in un ambiente operativo sperimentale e validato mediante test empirici.

5.3 Tecnologie e funzionalità derivate dai requisiti utente

La definizione delle tecnologie e delle funzionalità costitutive del sistema *FoodFlow* rappresenta un passaggio cruciale nella traduzione dei requisiti utente in soluzioni operative concrete. Tale fase si fonda sui principi dell'ingegneria dei requisiti che pone al centro la coerenza tra bisogni rilevati, obiettivi progettuali e implementazione tecnologica. L'obiettivo non è soltanto costruire un sistema efficiente, ma delineare un ecosistema digitale capace di rispondere a esigenze reali, promuovendo al contempo consapevolezza, sostenibilità e partecipazione attiva dell'utente.

In linea con i principi del *user-centered design* [41], lo sviluppo delle funzionalità trae origine dall'analisi empirica dei comportamenti e delle abitudini domestiche, con particolare attenzione alle dinamiche legate alla gestione delle scorte, alla pianificazione dei pasti e alla riduzione dello spreco alimentare. L'utente è concepito non come destinatario passivo del sistema, ma come attore protagonista, le cui pratiche e preferenze guidano la configurazione delle soluzioni tecnologiche.

<i>FUNZIONALITÀ CHIAVE</i>	<i>DESCRIZIONE BREVE</i>	<i>TIPO</i>	<i>PRIORITÀ</i>
Inventario	Registra cosa c'è in casa con scadenze	Core	Alta
Promemoria scadenza alimenti	Avvisi prima che un prodotto scada	Core	Alta
Lista della spesa	Generazione automatica basata su consumo/scorte	Core	Alta
Suggerimenti ricette	Suggerimenti su come usare ciò che hai	Core	Media
Pianificazione settimanale pasti	Possibilità di pianificare il proprio piano settimanale	Core	Media
Statistiche spreco alimentare	Report visivi con miglioramenti nel tempo	Extra	Media
Possibilità di condivisione	Possibilità di offrire alimenti ad altri utenti	Extra	Bassa
Classifica punteggi	Classifica utenti in base allo spreco evitato	Extra	Bassa

Tabella 9: Funzionalità emerse

L'analisi dei requisiti ha portato all'individuazione di un insieme di funzionalità chiave, individuati nella tabella 9, distinte in "core" ed "extra", sulla base della loro rilevanza per il raggiungimento degli obiettivi di progetto. Tra le funzionalità principali rientrano la gestione dell'inventario alimentare, i promemoria di scadenza, i suggerimenti di ricette personalizzate, la pianificazione settimanale dei pasti e la generazione automatica della lista della spesa: tutti elementi che costituiscono il nucleo operativo del sistema e rispondono alle esigenze più ricorrenti emerse durante la fase di analisi: sapere cosa si ha in casa, evitare la scadenza dei prodotti, pianificare i pasti in modo equilibrato e razionale, e mantenere un controllo costante sul consumo alimentare.

Questa scelta progettuale trova supporto anche nel framework di Yusoff, Godsell e Woolley [18], che evidenzia come gli strumenti digitali orientati alla prevenzione, come il monitoraggio delle scorte e la pianificazione dei pasti, siano più efficaci nel ridurre lo spreco domestico rispetto a interventi basati unicamente sul riuso o la redistribuzione del cibo.

Accanto a queste funzionalità centrali, il sistema integra elementi "extra" di natura motivazionale e sociale, quali la presenza di classifiche e badge basati sui risultati ottenuti nella riduzione degli

sprechi e la visualizzazione di statistiche e indicatori di miglioramento nel tempo. Questi meccanismi di *gamification* non hanno una funzione meramente ludica, ma si configurano come strumenti di *engagement* e rinforzo positivo, capaci di sostenere l'adozione continuativa del sistema e di consolidare comportamenti sostenibili nel lungo periodo.

5.4 Casi d'uso e scenari funzionali

La definizione dei casi d'uso rappresenta una fase fondamentale del processo di progettazione concettuale, poiché consente di tradurre i requisiti funzionali e non funzionali del sistema in scenari operativi concreti; permettendo di comprendere come gli utenti interagiranno con la piattaforma nelle diverse fasi d'uso e validando al contempo le logiche di interazione e anticipando eventuali criticità.

Nel contesto del progetto *FoodFlow*, i casi d'uso sono stati progettati con l'obiettivo di rappresentare le azioni principali che l'utente può compiere all'interno del sistema, dalla registrazione iniziale al monitoraggio delle scorte, fino alla pianificazione dei pasti e alla ricezione di notifiche automatiche.

I casi d'uso sono quindi concepiti come un ponte metodologico tra la definizione dei requisiti e la progettazione tecnica: essi traducono bisogni e comportamenti utente in processi sistemici verificabili, assicurando la coerenza tra le dimensioni concettuali, funzionali e tecnologiche del progetto.

La Tabella 10 sintetizza le principali funzionalità del sistema *FoodFlow* e i corrispondenti casi d'uso, indicando per ciascuno di essi l'azione prevista e la relativa descrizione operativa.

Funzionalità	Azione / Use Case	Descrizione
Registrazione / Login	Registrazione utente	Permette all'utente di creare un account o accedere, salvando preferenze e dati personali.
Aggiunta alimento	Scanner barcode / Inserimento manuale	L'utente può aggiungere un alimento tramite scanner del codice a barre o manualmente; la funzione manuale è limitata per ridurre errori.
Gestione scorte	Monitoraggio alimenti	Il sistema tiene traccia degli alimenti presenti, quantità e date di scadenza.
Pianificazione pasti	Suggerimento ricette	L'app suggerisce ricette ottimali basate sugli alimenti disponibili e sulle date di scadenza.
Lista della spesa	Generazione shopping list	Genera automaticamente la lista della spesa in base agli alimenti mancanti o prossimi alla scadenza.

Notifiche / Alert	Avviso scadenza / esaurimento	L'app invia notifiche quando un alimento sta per scadere o è quasi terminato.
KPI / Statistiche	Monitoraggio spreco alimentare	Mostra metriche chiave come percentuale di spreco evitato, alimenti consumati per tempo, frequenza acquisti.
Funzionalità	Azione / Use Case	Descrizione
Registrazione / Login	Registrazione utente	Permette all'utente di creare un account personale o accedere al sistema, salvando preferenze, dati nutrizionali e impostazioni di notifica.
Aggiunta alimento	Scanner barcode / Inserimento manuale	L'utente può aggiungere un alimento alla dispensa tramite scanner del codice a barre o inserimento manuale; la funzione automatica riduce errori e migliora la precisione dei dati.
Gestione scorte	Monitoraggio alimenti	Il sistema aggiorna in tempo reale lo stato della dispensa, tracciando quantità, categorie e date di scadenza, e fornisce una panoramica sintetica delle disponibilità.
Pianificazione pasti	Suggerimento ricette	Il motore di raccomandazione elabora i dati disponibili e propone ricette compatibili con gli alimenti presenti e le scadenze più prossime.
Lista della spesa	Generazione shopping list	La piattaforma genera automaticamente una lista della spesa in base agli alimenti mancanti o prossimi all'esaurimento, promuovendo acquisti sostenibili.
Notifiche / Alert	Avviso scadenza / esaurimento	Il sistema invia notifiche personalizzate che segnalano la scadenza di un prodotto o la necessità di riacquisto, riducendo sprechi e inefficienze.
KPI / Statistiche	Monitoraggio spreco alimentare	L'interfaccia visualizza indicatori chiave relativi allo spreco evitato, alla frequenza di consumo e al miglioramento delle abitudini nel tempo.

Tabella 10: Casi d'uso

5.4.1 Caso d'Uso 1 – Registrazione Utente

Il primo caso d'uso descrive il processo di creazione di un account personale, come mostrato in figura 14, necessario per accedere alle funzionalità personalizzate della piattaforma. L'attore principale è l'utente generico, che intende registrarsi per la prima volta.

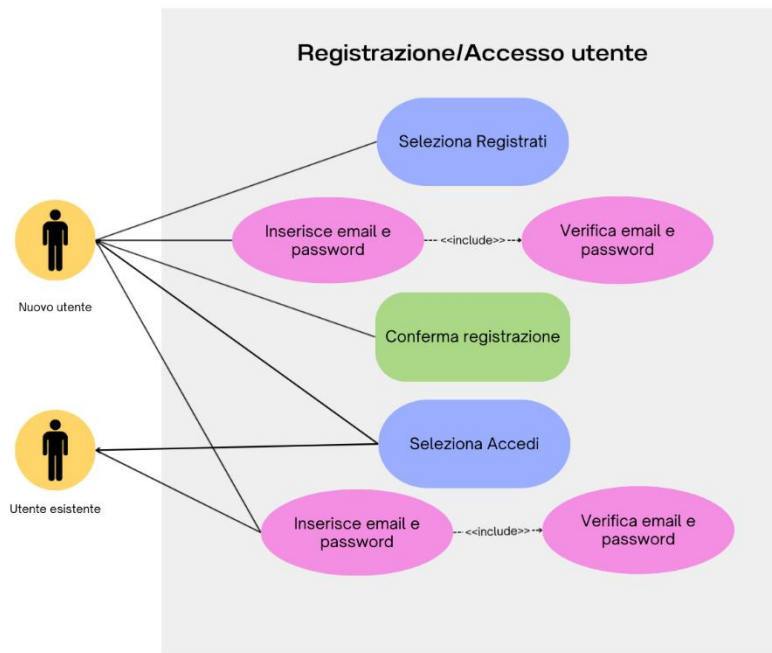


Figura 14: Use case - Registrazione/Autenticazione

Il flusso principale prevede le seguenti azioni:

1. L'utente apre l'applicazione e seleziona "Registrati".
2. Inserisce i dati richiesti (e-mail e password).
3. Conferma la registrazione e il sistema verifica la presenza in database della stessa mail e controlla che la password rispetti i requisiti.
4. Dopo la convalida, il profilo utente viene creato e si può procedere all'autenticazione.
5. L'utente seleziona "Accedi"

Nel flusso alternativo, il sistema gestisce eccezioni come e-mail già registrate o formati non validi, fornendo un feedback esplicativo e la possibilità di correggere l'errore.

La preconditione è che l'utente non sia autenticato; la postcondizione prevede che egli disponga di un profilo attivo e possa accedere alle funzionalità core.

5.4.2 Caso d'Uso 2 – Aggiunta Alimento alla Dispensa

Il secondo caso d'uso, rappresentato in figura 15, rappresenta una delle funzioni centrali del sistema, in quanto consente la registrazione degli alimenti posseduti, costituendo la base per tutte le elaborazioni successive (notifiche, ricette, statistiche).

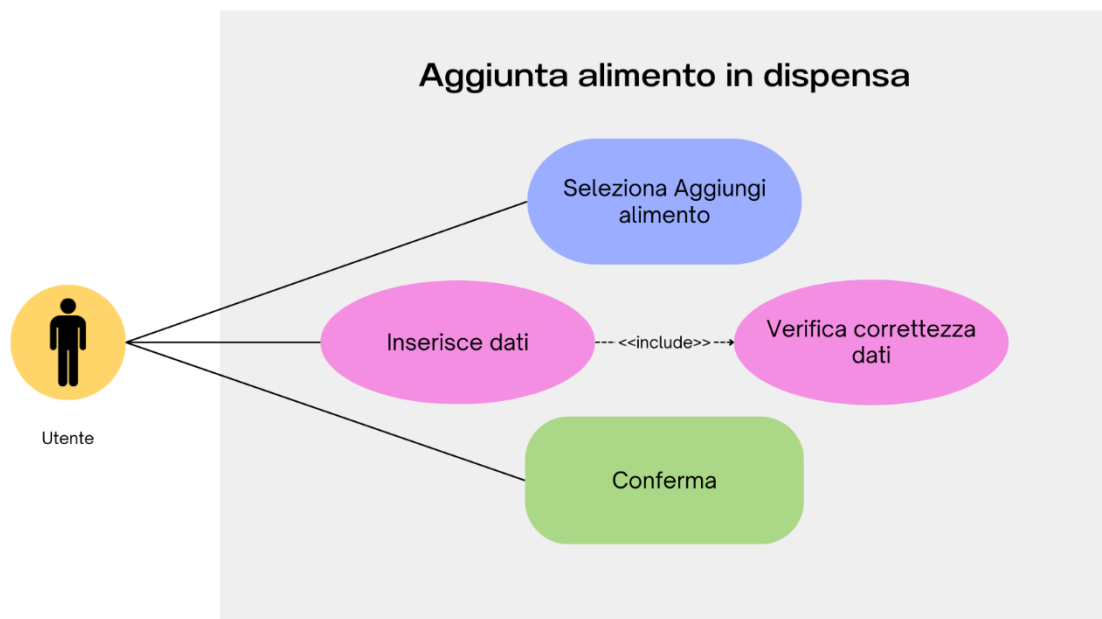


Figura 15: Use case - Aggiunta alimento in dispensa

L'attore principale è l'utente autenticato, che intende aggiungere un nuovo alimento alla propria dispensa digitale. Il flusso principale si articola come segue:

1. L'utente seleziona l'opzione "Aggiungi alimento" dal menu principale.
2. Inserisce le informazioni (nome del prodotto, categoria alimentare, quantità e data di scadenza).
3. Il sistema salva i dati e aggiorna in tempo reale la dispensa personale, rendendoli immediatamente disponibili ai moduli di analisi e monitoraggio.

Oltre all'inserimento manuale, il sistema prevede modalità di acquisizione automatica tramite barcode o QR code, funzionalità che riflette l'obiettivo di ridurre il carico cognitivo per l'utente e aumentare la precisione dei dati.

In particolare, la scansione del codice a barre consente di recuperare in modo automatico informazioni strutturate provenienti da banche dati alimentari esterne tra cui il nome commerciale del prodotto, la marca e categoria merceologica, i valori nutrizionali medi, il formato e peso unitario, eventuali allergeni dichiarati e il codice EAN o QR di riferimento.

Nel caso di utilizzo del QR code, l'informazione acquisita non si limita al riconoscimento del prodotto, ma può includere anche dati relativi alla provenienza, tracciabilità o data di confezionamento, se resi disponibili dal produttore.

Nel flusso alternativo, qualora il prodotto non venga riconosciuto dal database, il sistema permette l'inserimento manuale dei dati principali da parte dell'utente, garantendo comunque la coerenza del formato e la possibilità di integrazione futura.

5.4.3 Caso d'Uso 3 – Suggerimento Ricette con Ingredienti Disponibili

Il terzo caso d'uso descrive l'interazione tra l'utente e il modulo di intelligenza artificiale dedicato alla generazione di ricette basate sugli alimenti già presenti nella dispensa. Tale funzionalità ha lo scopo di ridurre lo spreco e ottimizzare il consumo domestico, come mostrato in figura x.

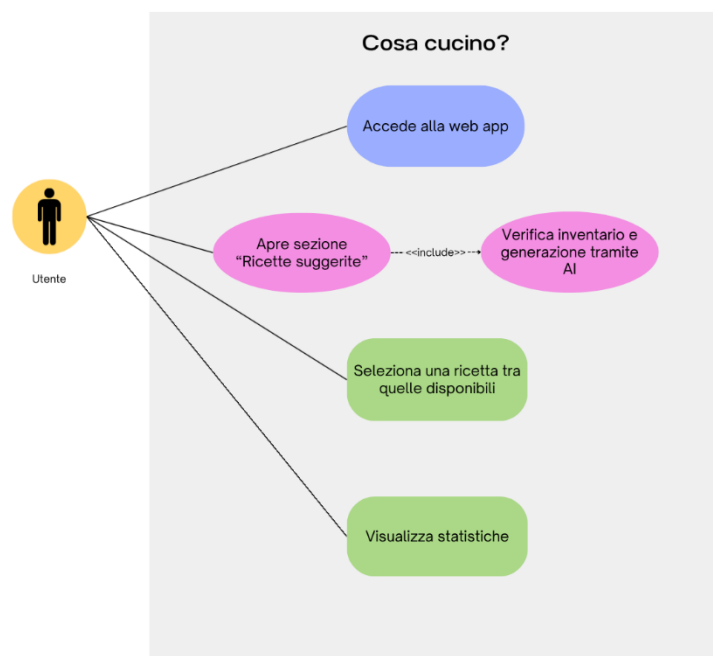


Figura 16: Use case - Cosa cucino?

Il flusso principale prevede che l'utente selezioni la voce "Ricette suggerite". Il sistema analizza gli ingredienti disponibili, ne valuta la combinabilità e propone un elenco di ricette compatibili, ordinate

in base alla priorità delle scadenze o ai criteri nutrizionali impostati. L'utente può quindi visualizzare le istruzioni dettagliate o aggiungere gli ingredienti mancanti alla lista della spesa automatica.

5.5 Behaviour Loop

La progettazione concettuale del sistema non si limita alla definizione delle sue componenti funzionali e architetturali, ma comprende anche la modellazione dei processi cognitivi e motivazionali che regolano l'interazione tra utente e tecnologia: in tale prospettiva, la dimensione comportamentale diventa parte integrante del progetto, poiché l'efficacia di una piattaforma come *FoodFlow* dipende non solo dalle sue prestazioni tecniche, ma anche dalla capacità di generare coinvolgimento, continuità d'uso e cambiamento nelle abitudini quotidiane.

In questo contesto, il *behaviour loop* rappresenta uno strumento metodologico di analisi e progettazione che consente di descrivere le dinamiche ricorrenti attraverso cui il sistema stimola, sostiene e rinforza i comportamenti desiderati.

Il *behaviour loop* segue la logica tripartita del *Fogg Behavior Model* [42], articolandosi nelle tre fasi fondamentali di trigger, azione e ricompensa. Il *trigger* rappresenta lo stimolo iniziale, come una notifica, un alert o un suggerimento, che richiama l'attenzione dell'utente e innesca il comportamento desiderato; l'azione corrisponde alla risposta effettiva, ovvero l'interazione concreta con la piattaforma, mentre la ricompensa costituisce il beneficio percepito o reale derivante da tale azione, rafforzando la motivazione e aumentando la probabilità di ripetizione del comportamento.

Nel caso di *FoodFlow*, il *behaviour loop* è stato progettato per favorire la riduzione dello spreco alimentare e la formazione di abitudini di consumo più sostenibili. Il processo inizia con *trigger* mirati, come le notifiche di scadenza o i suggerimenti personalizzati di ricette basate sugli ingredienti disponibili, che agiscono come stimoli comportamentali e indirizzano l'attenzione verso azioni virtuose; l'utente, in risposta, può aggiornare la propria dispensa, pianificare i pasti o preparare una ricetta proposta dal sistema.

A seguito di tale interazione, la piattaforma genera una ricompensa immediata sotto forma di *feedback* positivo con la visualizzazione dei progressi personali nella dashboard, il miglioramento dei punteggi di sostenibilità, le statistiche relative allo spreco evitato o gli avanzamenti nella classifica settimanale.

Il ciclo si chiude, e al tempo stesso si rinnova, quando l'utente percepisce un beneficio tangibile, come la riduzione effettiva degli sprechi o l'accumulo di punteggi positivi, che diventano a loro volta nuovi *trigger* per ulteriori interazioni: tale meccanismo attiva un processo di *reinforcement learning* esperienziale, nel quale la gratificazione non rappresenta un punto d'arrivo, ma un incentivo per la reiterazione del comportamento virtuoso.

La modellazione del *behaviour loop* di *FoodFlow* è stata formalizzata attraverso un modello ciclico che rappresenta la sequenza logica e retroattiva delle interazioni tra utente e sistema (Figura 17). Il flusso inizia con l'azione dell'utente, che sceglie una ricetta o aggiorna l'inventario, generando un primo input informativo; tale azione viene poi elaborata dal livello decisionale, in cui l'algoritmo analizza i dati disponibili e formula suggerimenti personalizzati basati sulle risorse presenti nella dispensa, contestualmente, il sistema registra i dati provenienti dall'interazione nella propria base informativa, aggiornando parametri come le scadenze.

Successivamente, le informazioni raccolte vengono sottoposte a una fase di valutazione dei risultati (*result evaluation*), in cui il sistema elabora un'analisi quantitativa dell'impatto ambientale, ad esempio la riduzione stimata delle emissioni di CO₂ o la quantità di spreco evitata. Infine, la piattaforma restituisce un *feedback* sintetico e motivante, che include la visualizzazione dei progressi, l'assegnazione di badge o la crescita nel punteggio complessivo; questo *feedback* non rappresenta la conclusione del ciclo, ma diventa a sua volta il nuovo *trigger* che riavvia la sequenza comportamentale, generando un processo di apprendimento adattivo e iterativo.

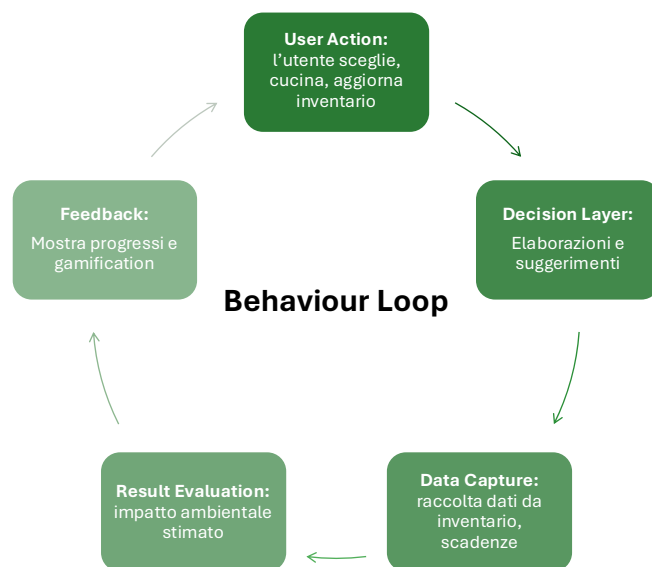


Figura 17: Behaviour Loop

In sintesi, il *behaviour loop* rappresenta la sintesi più matura tra *design persuasivo*, motivazione intrinseca e *gamification*, e costituisce un elemento cardine per la promozione dell'engagement e del cambiamento comportamentale nel lungo periodo.

Capitolo 6 - Prototipazione

Il presente capitolo illustra il processo di implementazione del prototipo *FoodFlow*, applicazione web integrata progettata per supportare la gestione consapevole delle scorte alimentari domestiche e ridurre lo spreco di cibo attraverso l'impiego coordinato di tecnologie digitali. Il prototipo sviluppato incarna l'ipotesi centrale della ricerca, secondo cui l'integrazione di strumenti di intelligenza artificiale generativa e meccaniche di coinvolgimento possono costituire un efficace supporto alle decisioni alimentari degli utenti, favorendo comportamenti più sostenibili e una riduzione sistematica dello spreco domestico.

In particolare, il sistema è stato concepito per validare la fattibilità tecnica e l'utilità percepita di un flusso operativo integrato in grado di connettere la dimensione cognitiva della pianificazione alimentare con quella comportamentale della gestione quotidiana.

L'intero progetto si fonda inoltre sui principi dell'economia circolare, attraverso funzionalità dedicate al riutilizzo degli alimenti prossimi alla scadenza, alla donazione alimentare e alla promozione di pratiche di consumo più sostenibili.

In sintesi, questo capitolo documenta la realizzazione del prototipo che traduce in termini concreti il modello concettuale e metodologico della ricerca.

6.1 Ambiente di esecuzione e setup

Il prototipo *FoodFlow* è stato sviluppato come applicazione web basata sul framework Flask, scelto per la sua leggerezza, modularità e idoneità alla prototipazione iterativa: il backend, interamente realizzato in Python, utilizza Flask come struttura portante e SQLAlchemy per la gestione del database attraverso un livello ORM (Object Relational Mapping), che garantisce indipendenza dal motore di database e favorisce la portabilità del sistema, realizzato su SQLite in ambiente di sviluppo.

Il sistema di autenticazione è implementato tramite Flask-Login, il quale assicura la protezione delle sessioni e il controllo degli accessi; l'interfaccia utente, costruita con il motore di template Jinja2 e la libreria Bootstrap 5, adotta un design responsive e conforme ai principi di accessibilità, mentre le visualizzazioni grafiche e le metriche di consumo sono generate con Chart.js, in combinazione con funzioni Python dedicate all'elaborazione e al rendering dei dati.

La configurazione dell'ambiente è gestita tramite variabili d'ambiente definite nel file `.env` e richiamate dal modulo `config.py`, il quale consente di isolare le informazioni sensibili e garantire la riproducibilità del contesto operativo; tra le variabili principali si notano `SECRET_KEY` per la cifratura delle sessioni, `DATABASE_URL` per la connessione al database e `GROQ_API_KEY` per l'accesso ai servizi di intelligenza artificiale.

L'architettura prevede due modalità di funzionamento complementari; nella modalità completa, il sistema accede ai servizi di intelligenza artificiale offerti dalle API Groq, basate sul modello linguistico LLaMA 3.3, impiegato per la generazione di ricette personalizzate, la pianificazione dei pasti e i suggerimenti di riciclo alimentare, mentre in assenza della chiave di accesso, il prototipo attiva automaticamente una modalità di fallback, nella quale le stesse funzionalità sono simulate mediante algoritmi deterministici predefiniti, assicurando la continuità del servizio e la coerenza funzionale anche in condizioni di indisponibilità dei servizi esterni.

La struttura del progetto è modulare e articolata in file distinti per la gestione delle routes (`routes.py`), dei modelli (`models.py`) e delle funzioni di intelligenza artificiale (`ai_functions.py`), favorendo la manutenibilità del codice e l'estensione progressiva delle funzionalità; il design responsive ottenuto con Bootstrap garantisce la compatibilità cross-device, elemento essenziale per la valutazione dell'usabilità in contesti reali.

6.2 Architettura del prototipo

L'architettura del prototipo FoodFlow è stata progettata secondo un modello multilivello che garantisce una chiara separazione tra la logica di presentazione, la logica applicativa e la gestione della persistenza dei dati: tale approccio, tipico dei sistemi web modulari, favorisce la manutenibilità, l'estensibilità e la tracciabilità delle operazioni interne.

Il livello di presentazione è realizzato mediante il motore di template Jinja2 e la libreria Bootstrap 5, che consentono la costruzione di un'interfaccia utente dinamica, responsiva e compatibile con diversi dispositivi; in questo contesto le comunicazioni tra interfaccia e server avvengono tramite richieste HTTP e chiamate AJAX, che permettono aggiornamenti parziali delle pagine, migliorando l'esperienza d'uso senza incrementare la complessità architetturale.

Il livello di controllo è gestito dal modulo `routes.py`, che rappresenta il punto di ingresso per tutte le richieste applicative: ogni rotta corrisponde a un endpoint specifico ed è responsabile della validazione degli input, della gestione dell'autenticazione tramite Flask-Login e dell'instradamento

verso i servizi appropriati; questo livello funge da mediatore tra la logica di presentazione e la logica di dominio, garantendo una gestione strutturata degli errori e un flusso informativo coerente.

La logica di business è implementata attraverso moduli dedicati che incapsulano funzioni omogenee per dominio applicativo: il modulo `smart_functions.py` gestisce la logica di dispensa, la pianificazione dei pasti, la lista della spesa e le dinamiche di gamification, coordinando l'interazione tra le principali entità del sistema; il modulo `ai_functions.py`, invece, integra le funzionalità di intelligenza artificiale basate sui modelli linguistici forniti da Groq, supportando la generazione automatica di ricette, la pianificazione alimentare e i suggerimenti di riutilizzo degli alimenti.

La gestione della persistenza è affidata a SQLAlchemy, che fornisce un'interfaccia a oggetti per la manipolazione delle entità dati definite nel modulo `models.py`, le quali rappresentano gli utenti, i prodotti, le liste della spesa, i piani alimentari, le statistiche di consumo e le famiglie condivise, implementando relazioni *one-to-many* e *many-to-many* in funzione delle esigenze funzionali.

Il flusso informativo segue un percorso coerente: la richiesta dell'utente viene intercettata dal controller corrispondente, elaborata dal servizio applicativo appropriato e, infine, risolta mediante lettura o aggiornamento del database. Nei casi in cui siano coinvolti moduli di intelligenza artificiale, la richiesta viene inoltrata al modulo `ai_functions.py`, che interroga il modello linguistico, riceve la risposta in formato JSON, ne esegue la validazione semantica e ne integra il contenuto nel contesto applicativo.

Particolare attenzione è stata dedicata agli aspetti di sicurezza e integrità dei dati: ogni endpoint implementa controlli di input, sanitizzazione dei parametri e verifiche di autorizzazione, al fine di prevenire accessi non autorizzati e garantire la consistenza del database.

6.3 Modello dati

La struttura concettuale del modello si articola in quattro domini principali: la gestione dell'utente, l'ambito alimentare, la dimensione familiare e l'area analitica e di gamification. L'entità `User` costituisce il punto di accesso al sistema e raccoglie le informazioni anagrafiche, le credenziali e le preferenze nutrizionali di ciascun individuo e ad essa si affiancano le entità `NutritionalProfile`, `NutritionalGoal` e `UserStats`, che consentono la definizione di obiettivi personalizzati e il monitoraggio delle abitudini alimentari.

Le classi `Product`, `ShoppingList`, `ShoppingItem` e `MealPlan` consentono di descrivere in modo strutturato la relazione tra ciò che è acquistato, ciò che è disponibile e ciò che viene effettivamente consumato; i prodotti includono attributi relativi a quantità, unità di misura, scadenza e categoria, mentre le liste della spesa e i piani alimentari garantiscono l'allineamento tra le scorte reali e la pianificazione nutrizionale, infatti tale approccio riduce le inefficienze e fornisce una base dati affidabile per le funzioni di raccomandazione e pianificazione automatica gestite dai moduli di intelligenza artificiale.

La componente familiare è gestita attraverso le entità `Family` e `FamilyMember`, che definiscono la struttura familiare e i relativi meccanismi di condivisione controllata delle informazioni; ogni famiglia è identificata da un codice univoco di dodici caratteri e può includere più utenti con ruoli e permessi differenziati.

La persistenza delle informazioni è garantita dal framework `SQLAlchemy ORM`, che assicura la conformità ai principi ACID (atomicità, consistenza, isolamento e durabilità). Le transazioni complesse, come il trasferimento simultaneo di prodotti dalla lista della spesa alla dispensa, vengono gestite in modo atomico e annullate automaticamente in caso di errore, preservando l'integrità logica del database.

Il modello include inoltre tabelle destinate alle analisi comportamentali e statistiche, come `WasteAnalytics`, `ShoppingAnalytics` e `DailyNutrition`, che registrano aggregazioni giornaliere e trend; queste componenti permettono la generazione efficiente di report descrittivi e visualizzazioni grafiche, integrando la dimensione analitica con le funzionalità applicative principali.

Nel complesso, il modello dati di `FoodFlow` costituisce un'infrastruttura logica robusta e coerente, capace di supportare l'intero ciclo di gestione alimentare domestica, dalla registrazione individuale e familiare delle scorte, alla pianificazione nutrizionale, fino all'analisi dei comportamenti di consumo e alle raccomandazioni intelligenti, garantendo al tempo stesso integrità, trasparenza e scalabilità.

Il modello dati include inoltre una sezione dedicata alla gestione del profilo nutrizionale dell'utente: le entità *`NutritionalProfile`* e *`NutritionalGoal`* consentono di registrare informazioni su fabbisogno calorico, distribuzione dei macronutrienti e obiettivi dietetici personalizzati, che vengono poi utilizzati come base per la generazione automatica dei piani alimentari e per la valutazione dell'aderenza nutrizionale nel tempo. Questa integrazione tra profilo personale e logica algoritmica

permette di garantire coerenza tra le raccomandazioni proposte e le esigenze individuali, contribuendo alla personalizzazione del percorso alimentare e alla valorizzazione del principio di “alimentazione consapevole”.

6.4 Algoritmo per il calcolo del profilo nutrizionale

L'algoritmo sviluppato per il calcolo del profilo nutrizionale rappresenta il nucleo scientifico del sistema *FoodFlow*, poiché consente la personalizzazione delle raccomandazioni alimentari sulla base dei parametri fisiologici e degli obiettivi individuali dell'utente. Tale componente integra principi di nutrizione applicata e modellazione computazionale, traducendo evidenze cliniche e linee guida internazionali in formule matematiche implementate nel back-end del prototipo. L'obiettivo è stimare in modo accurato il fabbisogno energetico giornaliero e la distribuzione ottimale dei macronutrienti, affinché i suggerimenti alimentari generati risultino coerenti con lo stato corporeo e il livello di attività dichiarato.

La stima del metabolismo basale (Basal Metabolic Rate, BMR) si basa sulla formula di Mifflin-St Jeor [43], ritenuta oggi la più affidabile per soggetti adulti in condizioni standard, in quanto derivata da campioni rappresentativi della popolazione contemporanea. Tale relazione, espressa in funzione di peso, altezza ed età, è la seguente:

$$\begin{aligned} \text{BMR}_{\text{uomo}} &= (10 \times \text{peso}) + (6.25 \times \text{altezza}) - (5 \times \text{età}) + 5 \\ \text{BMR}_{\text{donna}} &= (10 \times \text{peso}) + (6.25 \times \text{altezza}) - (5 \times \text{età}) - 161 \end{aligned}$$

dove il peso è espresso in chilogrammi, l'altezza in centimetri e l'età in anni. Il metabolismo basale così calcolato rappresenta il dispendio energetico necessario per mantenere le funzioni vitali in condizioni di riposo assoluto.

Per ottenere una stima più realistica del fabbisogno calorico quotidiano, *FoodFlow* calcola il dispendio energetico totale (Total Daily Energy Expenditure, TDEE) applicando al BMR un coefficiente moltiplicativo, denominato fattore di attività (AF), che varia in funzione dello stile di vita dichiarato. La formula generale è:

$$\text{TDEE} = \text{BMR} \times \text{AF}$$

Il valore del fattore di attività segue le raccomandazioni FAO/WHO/UNU [44] variando tipicamente tra 1.2 per soggetti sedentari e 1.9 per individui altamente attivi.

Sulla base del TDEE calcolato, l'algoritmo modula il fabbisogno calorico in funzione dell'obiettivo nutrizionale impostato dall'utente. Vengono considerati scenari standard di mantenimento, dimagrimento, aumento ponderale o incremento di massa muscolare, regolando di conseguenza l'apporto energetico complessivo mediante deficit o surplus percentuali predefiniti. Questa logica adattiva consente di garantire un equilibrio dinamico tra precisione scientifica e flessibilità individuale.

Una volta determinato il fabbisogno energetico giornaliero, il sistema suddivide le calorie totali nei principali macronutrienti secondo le raccomandazioni dell'EFSA (European Food Safety Authority) [45] e dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) [46]. Le proteine vengono calcolate con un apporto pari a 1,8 grammi per chilogrammo di peso corporeo, i grassi corrispondono a circa il 28% dell'introito energetico complessivo, mentre i carboidrati rappresentano il valore residuo necessario al bilanciamento calorico. Le fibre alimentari sono stimate in 14 grammi per ogni 1000 kcal di consumo, conformemente agli standard dietetici europei.

L'intero processo di calcolo viene eseguito in fase di registrazione o aggiornamento del profilo utente e i risultati vengono salvati nelle entità *NutritionalProfile* e *NutritionalGoal* del database, consentendo l'integrazione diretta con i moduli dedicati alla generazione automatica dei piani alimentari e al monitoraggio dei progressi nel tempo. L'architettura logica, pur essendo basata su formule deterministiche, è predisposta per accogliere futuri miglioramenti basati su modelli predittivi di machine learning, che potranno affinare ulteriormente la personalizzazione sulla base dei dati storici e comportamentali.

In tal modo, *FoodFlow* combina rigore scientifico e innovazione tecnologica, offrendo una base algoritmica robusta che consente di tradurre evidenze nutrizionali in raccomandazioni operative e personalizzate. Il modello adottato non solo risponde alle esigenze di precisione e trasparenza richieste in ambito scientifico, ma contribuisce anche alla valorizzazione del principio di responsabilizzazione alimentare che ispira l'intero progetto.

6.5 Componenti AI e strategie di fallback

L'integrazione dei moduli di intelligenza artificiale all'interno del prototipo *FoodFlow* rappresenta un elemento centrale del progetto in quanto consente di automatizzare e personalizzare i processi di

gestione alimentare mantenendo, al contempo, la robustezza operativa del sistema anche in condizioni di indisponibilità dei servizi esterni.

Il modulo principale, denominato `ai_functions.py`, costituisce l'interfaccia di comunicazione tra il sistema e i servizi esterni forniti dall'API Groq, basata sul modello LLaMA 3.3 da 70 miliardi di parametri, modello appartenente alla categoria dei Large Language Models (LLM) che viene applicato per automatizzare quattro processi fondamentali quali la generazione di ricette personalizzate a partire dagli ingredienti disponibili, l'ottimizzazione dei piani alimentari settimanali, la stima dei valori nutrizionali di pasti descritti in linguaggio naturale e la produzione di suggerimenti di riciclo alimentare per ridurre gli sprechi.

Dal punto di vista dell'implementazione, la comunicazione tra il backend e il modello AI avviene attraverso richieste strutturate in formato JSON secondo un paradigma di *structured prompting* che impone vincoli sintattici e semantici all'output generato.

Un aspetto cruciale del progetto è la gestione della robustezza operativa attraverso un articolato sistema di *fallback*; l'architettura AI di *FoodFlow* è, infatti, concepita secondo un approccio multilivello che, qualora il servizio esterno non risponda o il risultato ricevuto non sia conforme al formato atteso, viene attivato un secondo livello deterministico basato su algoritmi locali predefiniti. In questa modalità, il sistema mantiene la funzionalità principale attraverso procedure interne che simulano l'output del modello AI, come la generazione di ricette standardizzate per categoria di ingrediente, la proposta di menu bilanciati ricorrenti o la stima dei valori nutrizionali mediante tabelle statiche di riferimento.

Dal punto di vista della normalizzazione dei dati, il modulo AI adotta strategie di riconciliazione automatica delle unità di misura e delle quantità; inoltre, poiché le descrizioni generate dai modelli linguistici possono contenere unità non standardizzate, come "cucchiaino" o "tazza", il sistema esegue una conversione automatica verso unità riconosciute (g, ml, pz), assicurando la compatibilità con i formati interni di *FoodFlow*.

Accanto alle funzioni generative tradizionali, il sistema integra un modulo di interazione conversazionale che funge da assistente *chatbot*, basato sullo stesso modello linguistico Groq, che consente all'utente di porre domande in linguaggio naturale su temi alimentari, suggerimenti nutrizionali, o modalità di utilizzo degli ingredienti disponibili. Il chatbot non sostituisce le funzionalità automatiche del sistema, ma le affianca in chiave esplicativa e consulenziale, offrendo

un canale di dialogo immediato e informativo che rende l'esperienza più trasparente e personalizzata.

Nel complesso, l'integrazione dei moduli AI in *FoodFlow* rappresenta un equilibrio consapevole tra innovazione e affidabilità; tale impostazione riflette la visione di un sistema intelligente "centrato sull'uomo", capace di adattarsi al contesto e di mantenere un comportamento prevedibile, trasparente e verificabile, contribuendo così alla creazione di un ecosistema digitale affidabile e sostenibile per la gestione alimentare domestica.

6.6 Funzionalità implementate

Il prototipo *FoodFlow* realizza un ecosistema integrato per la gestione alimentare domestica, strutturato attraverso flussi di lavoro end-to-end che connettono in modo coerente la registrazione dei prodotti, la pianificazione dei pasti, la generazione automatica delle liste della spesa, il monitoraggio dei consumi e l'analisi dei comportamenti.

Il ciclo d'interazione con il sistema inizia con la registrazione e autenticazione utente, gestite tramite *Flask-Login* e interfacce dedicate che garantiscono un'esperienza fluida e sicura; la procedura di registrazione consente di creare un profilo personale completo di preferenze alimentari, restrizioni nutrizionali e obiettivi, successivamente collegato all'entità *NutritionalProfile*. Una volta autenticato, l'utente accede alla *dashboard* principale, punto nevralgico del sistema, dove vengono riepilogati i principali indicatori di consumo, gli avvisi di scadenza e le raccomandazioni generate dall'intelligenza artificiale.

La gestione della dispensa rappresenta il cuore operativo del sistema e attraverso un'interfaccia tabellare reattiva, l'utente può inserire nuovi prodotti, aggiornare le quantità disponibili, controllare le date di scadenza e visualizzare lo stato delle scorte; ogni elemento della dispensa è sincronizzato con la lista della spesa e con i moduli di pianificazione, consentendo una rappresentazione sempre coerente del ciclo alimentare domestico.

La pianificazione dei pasti costituisce il livello cognitivo dell'interazione, in cui l'utente può generare o modificare un piano settimanale personalizzato; la funzione di generazione automatica, basata sul profilo nutrizionale e sulle disponibilità della dispensa, propone combinazioni equilibrate di pasti, ottimizzate secondo obiettivi calorici e preferenze individuali. La generazione avviene in stretta integrazione con il modulo AI, che produce proposte di menu complete di ingredienti, porzioni e valori nutrizionali stimati.

La sezione dedicata alle analytics consente il monitoraggio dei comportamenti di consumo, della frequenza di spreco e dell'andamento nutrizionale; le visualizzazioni, realizzate con *Chart.js*, integrano indicatori ambientali come la riduzione stimata delle emissioni di CO₂ e il risparmio economico derivante dalle pratiche di riuso.

La dimensione motivazionale è presente nella funzione *gamification*, che assegna punti e badge in relazione a comportamenti virtuosi come riduzione dello spreco, completamento dei piani alimentari, rispetto degli obiettivi nutrizionali o riciclo.

Inoltre, la gestione familiare consente di creare gruppi di utenti di condividere la stessa dispensa e lo stesso piano pasti; ogni gruppo è identificato da un codice univoco di 12 caratteri e può includere membri con ruoli differenti, quali amministratore o collaboratore.

Il sistema include, anche, una sezione di sponsorizzazioni e consigli sostenibili, attraverso la quale vengono proposti prodotti o partner commerciali coerenti con la filosofia ambientale del progetto.

Infine, la funzione di riciclo alimentare consente di individuare alternative d'uso per ingredienti prossimi alla scadenza tramite il modulo *ai_suggest_food_recycling()*, attraverso il quale il sistema propone idee di recupero o di donazione, incoraggiando l'utente a ridurre gli sprechi; le azioni di recupero o smaltimento vengono registrate nelle tabelle analitiche e contribuiscono agli indicatori ambientali e ai punteggi di gamification.

Accanto alle funzioni principali, il prototipo FoodFlow integra un insieme di componenti complementari che concorrono a migliorare l'esperienza d'uso, la personalizzazione del sistema e la completezza operativa della piattaforma; tra queste, la gestione della lista spesa intelligente rappresenta un'estensione naturale del modulo dispensa, consentendo di generare in modo automatico elenchi di acquisto coerenti con i piani alimentari, le preferenze nutrizionali e le disponibilità residue.

Un ulteriore elemento distintivo è costituito dalla gestione degli allergeni e dalle note personalizzate, che consentono di adattare le ricette e le raccomandazioni alle esigenze specifiche dell'utente, assicurando un controllo puntuale degli ingredienti e una maggiore consapevolezza alimentare. A livello di engagement, il sistema punti e reward introduce una dinamica volta a incentivare comportamenti virtuosi, come la riduzione dello spreco rafforzando l'adesione dell'utente alla piattaforma.

6.7 Interfaccia utente e linee guida UX

L'interfaccia utente del prototipo *FoodFlow* è stata concepita secondo i principi dell'usabilità e dell'accessibilità con l'obiettivo di ridurre la complessità cognitiva e favorire un'interazione fluida e intuitiva; la progettazione segue un approccio responsive, fondato sul framework Bootstrap 5, che garantisce l'accessibilità cross-device necessaria per l'uso quotidiano in contesti domestici, scelta metodologica che consente di assicurare una fruizione coerente e stabile delle funzionalità, indipendentemente dal dispositivo utilizzato, rendendo l'esperienza utente continua e priva di interruzioni percettive.

L'architettura dell'interfaccia è basata su un sistema modulare di template *Jinja2*, il quale consente la gestione centralizzata degli elementi visivi e strutturali; il template principale (*base_modern.html*) definisce la struttura base dell'applicazione, includendo la barra di navigazione, la sidebar collassabile, il footer e il sistema di notifiche, mentre le pagine dedicate, come la dashboard, la dispensa, il *meal planner* e la sezione *analytics*, estendono il layout principale mantenendo la coerenza visiva e funzionale

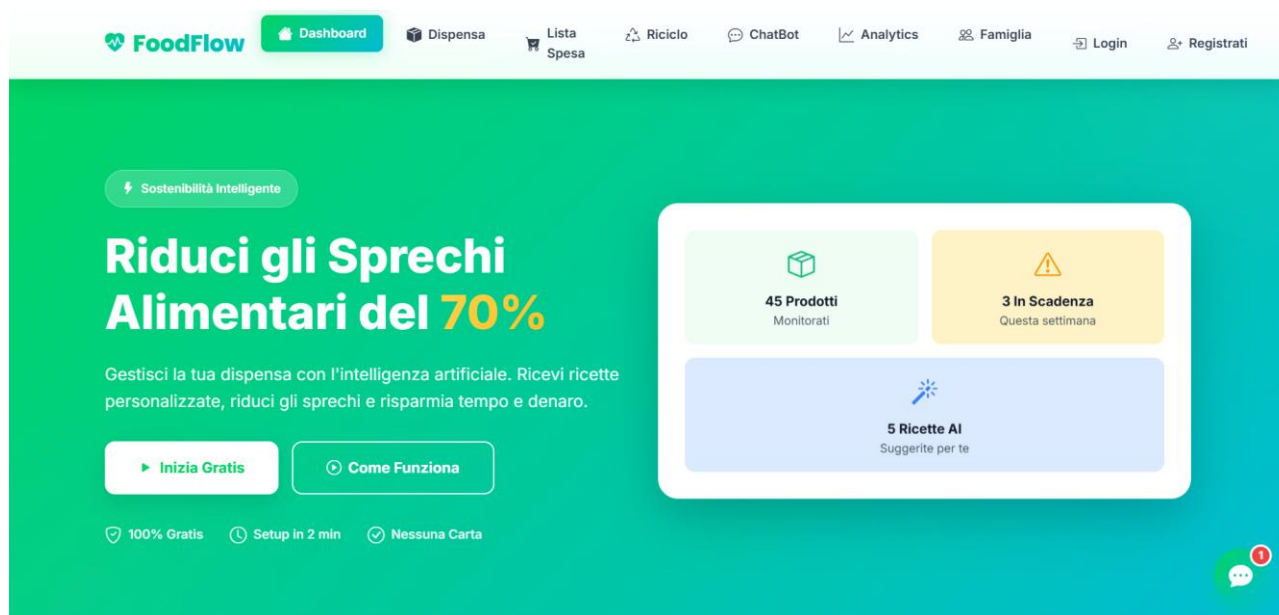


Figura 18: Schermata principale FoodFlow

La dashboard principale, Figura 18, costituisce il punto di accesso unificato alle informazioni essenziali una volta effettuato il login, aggregando indicatori chiave di prestazione (*KPI*), grafici interattivi sviluppati con *Chart.js* e collegamenti rapidi alle funzionalità principali. La sezione dedicata alla gestione della dispensa, Figura 19, implementa una vista tabellare dotata di filtri per categoria e

stato del prodotto (ad esempio, articoli in scadenza o con scorte ridotte), integrando azioni rapide per modificare, eliminare o marcare i prodotti come sprecati.

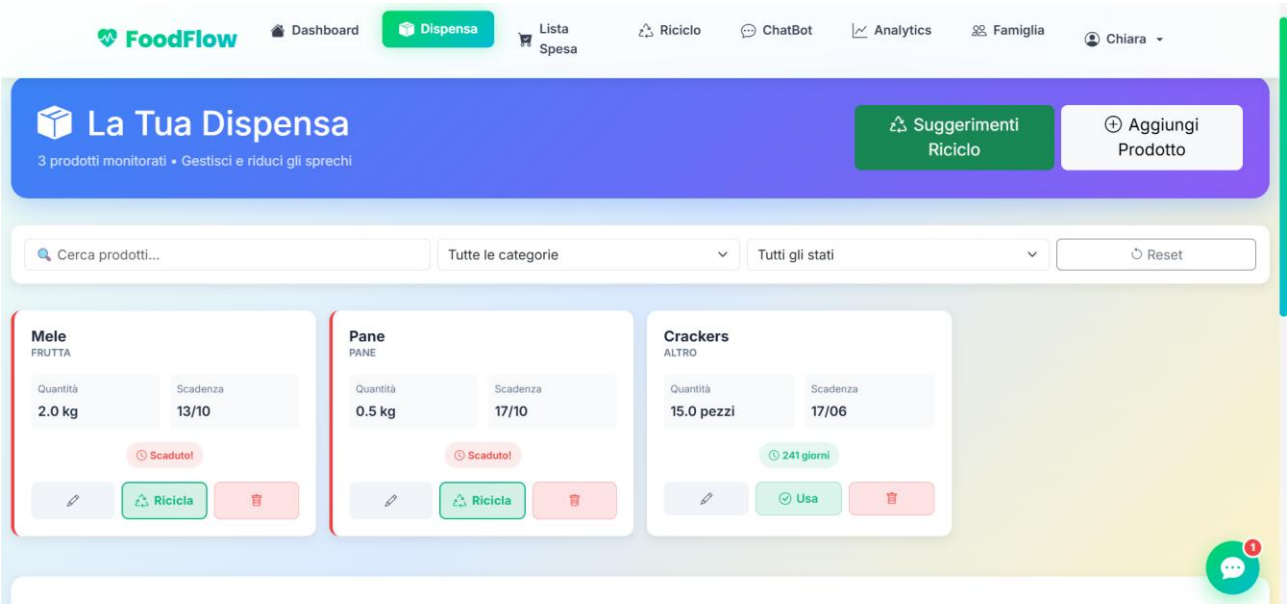


Figura 19: Dispensa FoodFlow

Il modulo per la pianificazione dei pasti (*meal planner*), Figura 20, adotta una vista a calendario. Gli indicatori visivi permettono di monitorare il bilanciamento nutrizionale giornaliero e settimanale. La sezione dedicata alle liste spesa, invece, impiega un sistema a *checklist* con indicatori di avanzamento progressivo, che supportano la creazione rapida e la gestione di liste multiple, arricchite da suggerimenti AI per l’ottimizzazione degli acquisti.

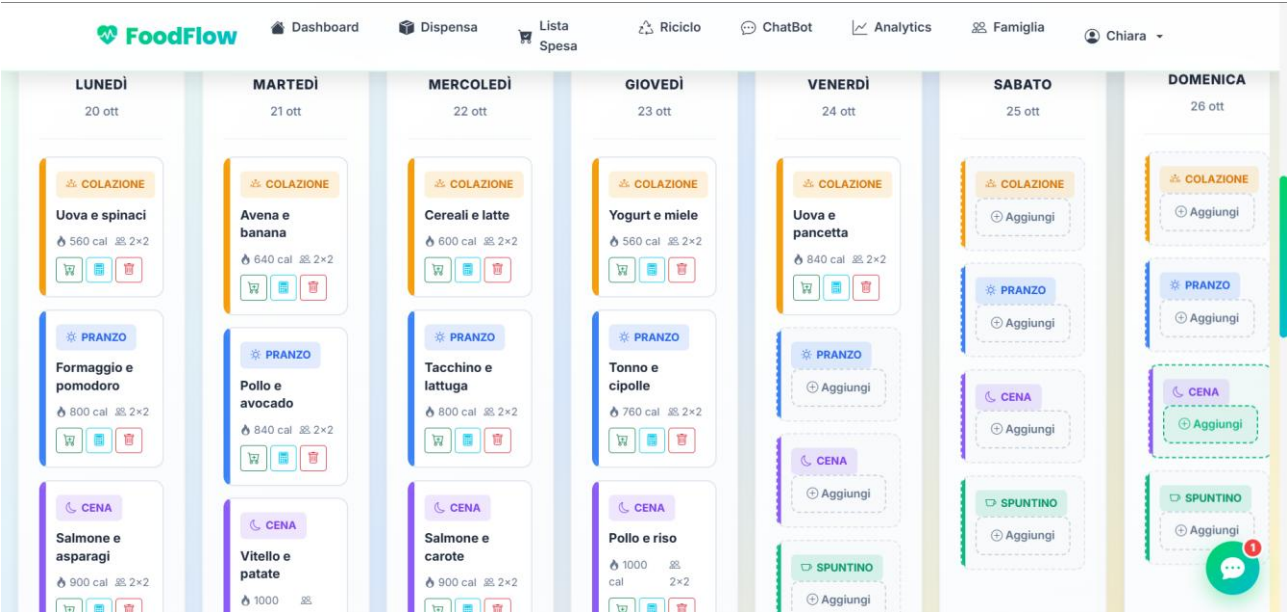


Figura 20: Meal Planner FoodFlow

Le funzioni di analisi e monitoraggio sono presentate in una sezione dedicata (*Analytics*), Figura 21, che integra grafici interattivi di tipo lineare, a barre e circolari; l'utente può filtrare i dati per intervallo temporale, nonché esportare le statistiche in formati esterni.

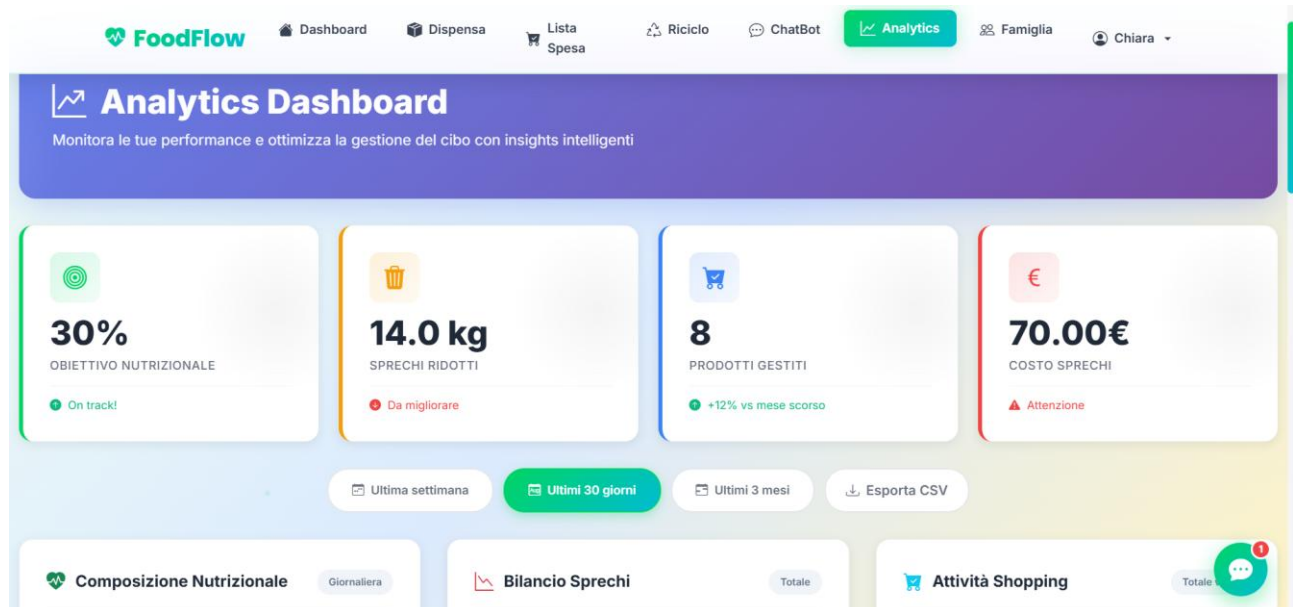


Figura 21: Analytics FoodFlow

L'integrazione delle funzionalità AI è stata progettata in modo trasparente e non invasivo, mantenendo la centralità del controllo utente e le funzioni basate su intelligenza artificiale, come la generazione di ricette, la pianificazione automatica dei pasti e i suggerimenti per il riciclo, sono segnalate attraverso label discrete che ne indicano la provenienza.

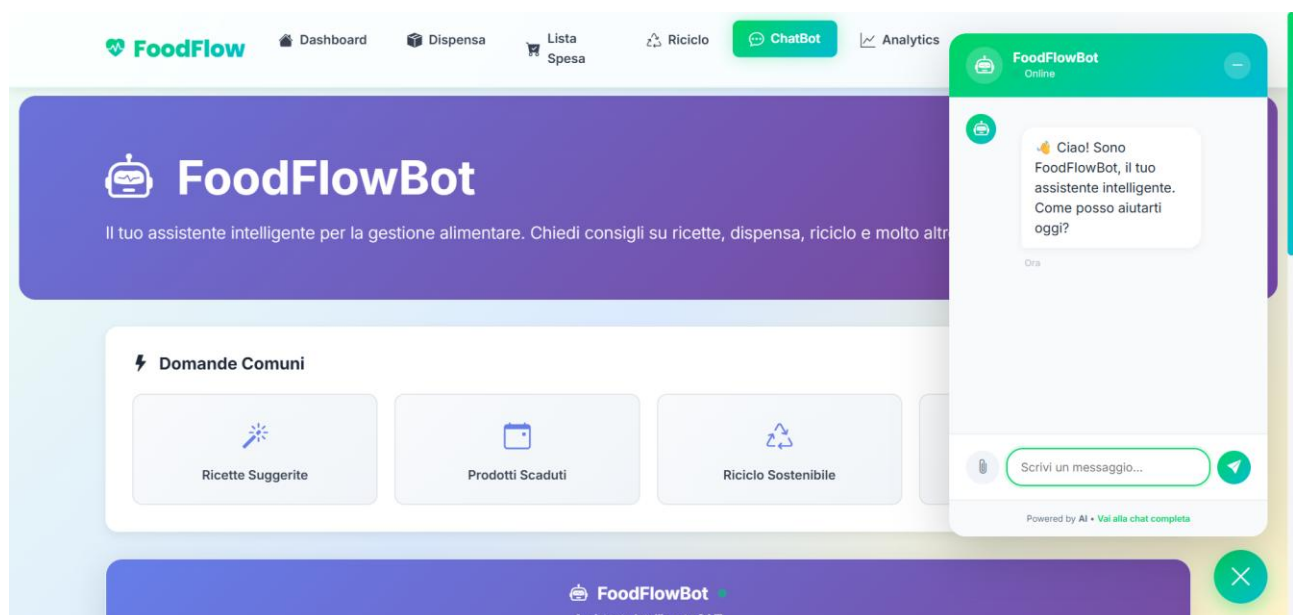


Figura 22: FoodFlow Bot

L'interfaccia integra, inoltre, una sezione di assistenza interattiva, accessibile tramite chatbot, Figura 22, che consente all'utente di ricevere supporto contestuale o consigli culinari in linguaggio naturale. Nella parte inferiore della dashboard è presente anche un modulo informativo dedicato alle sponsorizzazioni sostenibili, Figura 23, che segnala periodicamente prodotti ecocompatibili o campagne di sensibilizzazione legate alla riduzione degli sprechi alimentari. Entrambi gli elementi sono progettati secondo principi di trasparenza e non invasività, mantenendo il focus sull'esperienza utente e sulla coerenza etica dell'applicazione.

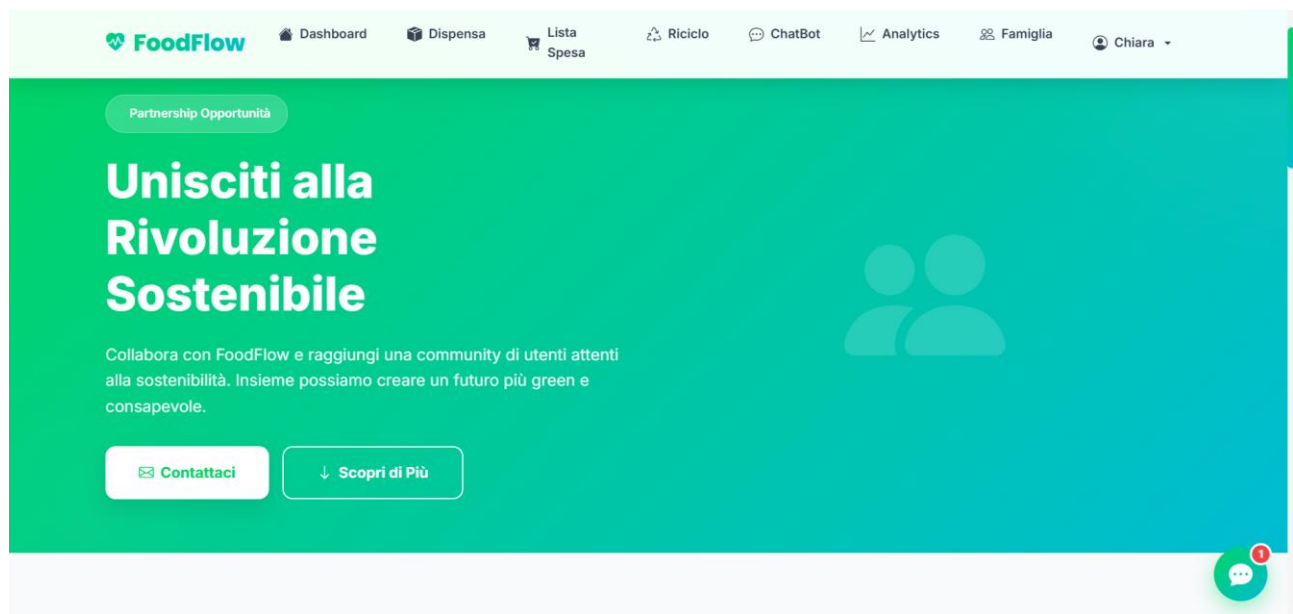


Figura 23: Sezione Sponsorizzazioni FoodFlow

6.8 Verifica tecnica del prototipo

La verifica tecnica del prototipo *FoodFlow* ha costituito una fase fondamentale del processo di sviluppo, finalizzata alla validazione della robustezza complessiva del sistema, alla valutazione delle sue performance e alla verifica della coerenza dei dati rispetto ai requisiti funzionali stabiliti nella fase metodologica.

La prima fase ha riguardato la verifica dei principali endpoint applicativi e delle loro interazioni; la componente di autenticazione e autorizzazione è stata testata in scenari di login, registrazione e gestione delle sessioni, dimostrando la corretta applicazione dei meccanismi di validazione delle credenziali e di protezione delle rotte sensibili. Le credenziali utente vengono, infatti, gestite mediante hashing sicuro basato su PBKDF2, mentre i flussi di accesso sono regolati da decoratori che garantiscono la riservatezza dei dati.

Le operazioni relative alla gestione dei prodotti e della dispensa sono state verificate attraverso prove sulle funzioni di creazione, modifica ed eliminazione dei dati; i risultati hanno mostrato la corretta gestione delle relazioni tra utenti e famiglie, la prevenzione dei duplicati e la coerenza delle transazioni. L'uso di SQLAlchemy ha consentito di garantire l'atomicità delle operazioni, implementando rollback automatici in caso di errori e commit espliciti nei casi di aggiornamento riuscito e, analogamente, la generazione delle liste spesa e la loro sincronizzazione con il modulo di pianificazione dei pasti hanno confermato la capacità del sistema di gestire in modo coerente l'aggiornamento automatico delle quantità. I test condotti sulle funzioni di analytics hanno infine verificato la correttezza dei calcoli e l'aggregazione temporale dei dati, con conferma della precisione delle metriche visualizzate nei grafici interattivi.

Le metriche di performance raccolte durante i test hanno permesso di valutare l'efficienza del sistema; il caricamento della dashboard principale è risultato inferiore a due secondi, la generazione di ricette tramite AI ha mostrato tempi compresi tra tre e otto secondi, mentre le operazioni di calcolo analitico sono state completate in meno di un secondo.

Il sistema di logging, progettato per garantire tracciabilità e capacità di diagnosi, registra in modo strutturato gli errori applicativi, le anomalie relative ai moduli AI e le operazioni di database, mentre la gestione delle variabili sensibili tramite file di configurazione e ambiente rafforza ulteriormente la sicurezza operativa e la protezione dei dati.

Capitolo 7 – Conclusioni e sviluppi futuri

7.1 Conclusioni

Il presente lavoro di ricerca ha affrontato il tema dello spreco alimentare domestico in una prospettiva interdisciplinare, coniugando contributi teorici provenienti dagli studi sul comportamento del consumatore, dal design dell'interazione e dalle tecnologie digitali emergenti basate su intelligenza artificiale. Muovendo dalla consapevolezza che il segmento domestico rappresenta la principale fonte di spreco lungo la filiera alimentare, la tesi ha perseguito un duplice obiettivo: da un lato comprendere i fattori cognitivi e organizzativi che determinano il fenomeno, dall'altro verificare la possibilità di ridurlo attraverso strumenti digitali orientati alla consapevolezza e all'educazione comportamentale.

In particolare, la ricerca si è articolata attorno a tre domande fondamentali, che hanno guidato il percorso metodologico e progettuale. La prima riguardava l'individuazione delle tecnologie più efficaci per la riduzione dello spreco alimentare e la valutazione delle evidenze empiriche disponibili nella letteratura scientifica. L'analisi ha mostrato che le soluzioni più diffuse si concentrano principalmente su tre ambiti funzionali: sistemi di monitoraggio delle scorte e delle scadenze, piattaforme di pianificazione dei pasti e piattaforme di food sharing; tuttavia, sebbene tecnologicamente avanzate, queste soluzioni tendono spesso a focalizzarsi su singole funzionalità e si rivelano deboli nella componente comportamentale e motivazionale, limitandosi a un approccio funzionale e frammentario. Da questa constatazione è emersa la necessità di un modello integrato, FoodFlow che nasce esattamente da questa esigenza, proponendosi come un sistema capace di unire intelligenza artificiale e behavioral design per promuovere abitudini alimentari più consapevoli e sostenibili.

La seconda domanda di ricerca si concentrava sull'analisi dei driver e delle barriere comportamentali che influenzano lo spreco domestico. I risultati ottenuti, supportati dalla revisione della letteratura e dall'analisi delle pratiche quotidiane, hanno evidenziato come le principali cause di spreco risiedano in una limitata consapevolezza delle scorte, in una pianificazione inadeguata dei pasti e nella tendenza a sovrastimare i fabbisogni alimentari; mentre, parallelamente, le barriere al cambiamento includono la percezione di complessità nell'uso di strumenti tecnologici, la mancanza di tempo e la scarsa motivazione nel lungo periodo. Il prototipo sviluppato risponde a tali sfide

attraverso un'interfaccia semplice e intuitiva e una componente di gamification che favorisce il coinvolgimento dell'utente e il rinforzo di comportamenti virtuosi nel tempo.

La terza e ultima domanda di ricerca si è focalizzata sulla possibilità di integrare le evidenze tecnologiche e comportamentali in un modello operativo concreto, traducendole in linee guida progettuali e funzionalità applicative. A questo fine, la progettazione di FoodFlow ha seguito un approccio user-centered ed evidence-based, in cui i bisogni emersi nella fase esplorativa tramite survey sono stati trasformati in moduli funzionali capaci di connettere monitoraggio e suggerimenti personalizzati; il sistema si fonda su tre principi cardine quali la visibilità e trasparenza delle informazioni, la personalizzazione adattiva basata su intelligenza artificiale e la motivazione intrinseca sostenuta da meccanismi di feedback positivo e gamification.

Il prototipo, descritto nel Capitolo 6, rappresenta la sintesi applicativa di tale visione: infatti, dal punto di vista funzionale, esso dimostra come l'integrazione tra intelligenza artificiale e attenzione comportamentale possa produrre un effetto sinergico nella gestione delle risorse alimentari domestiche, favorendo l'apprendimento progressivo, la motivazione e la riduzione dello spreco.

In prospettiva, il lavoro mostra come l'intelligenza artificiale possa costituire uno strumento abilitante per la sostenibilità se inserita in un quadro di progettazione etica e responsabile, coerente con i principi dell'Agenda 2030 e in particolare con l'Obiettivo 12.3, volto a dimezzare lo spreco alimentare globale pro capite. Sebbene il prototipo non rappresenti una soluzione definitiva, i risultati conseguiti evidenziano la validità metodologica e concettuale dell'approccio adottato, offrendo una base solida per sviluppi futuri e applicazioni su scala reale.

In conclusione, il progetto FoodFlow rappresenta un passo significativo verso la definizione di un modello di gestione alimentare intelligente, etico e sostenibile, il quale si propone di dimostrare come la tecnologia, se guidata da una visione centrata sull'uomo e supportata da fondamenti teorici, possa assumere il ruolo di agente di trasformazione sociale, favorendo pratiche di consumo più consapevoli e contribuendo concretamente alla costruzione di un ecosistema alimentare più equo, efficiente e sostenibile.

7.2 Limiti

Il prototipo FoodFlow, pur dimostrando la fattibilità tecnica e concettuale di un ecosistema integrato per la gestione alimentare domestica, presenta alcune limitazioni e la consapevolezza di tali vincoli

è parte integrante dell'approccio di ricerca, poiché consente di delineare con chiarezza le aree di miglioramento e le possibili estensioni future.

Dal punto di vista tecnico e funzionale, il sistema copre in modo solido i flussi principali di gestione della dispensa, pianificazione dei pasti e generazione di ricette, ma mostra margini di miglioramento nella gestione di casi complessi.

La scalabilità rappresenta un ambito di criticità: l'architettura, basata su Flask e su un database SQLite, è idonea per la fase di prototipazione, ma non ottimizzata per un utilizzo in produzione con un elevato numero di utenti simultanei mentre, analogamente, alcune funzionalità secondarie, come l'upload di immagini dei prodotti o la gestione di scontrini digitali, non sono state implementate, pur essendo previste come possibili estensioni future.

Un ulteriore limite è legato alla qualità e completezza dei dati inseriti. Poiché il sistema si basa su input manuali, errori di compilazione o la mancata registrazione tempestiva delle scadenze possono influenzare negativamente l'accuratezza delle raccomandazioni e la coerenza delle analisi statistiche.

In conclusione, i limiti individuati non compromettono la validità scientifica del progetto, ma ne definiscono il perimetro di applicabilità e costituiscono il punto di partenza per futuri sviluppi.

7.3 Sviluppi futuri

Gli sviluppi futuri di FoodFlow si orientano verso un'evoluzione tecnico-funzionale volta a consolidare la maturità del sistema e a estenderne la portata applicativa, trasformando il prototipo in una piattaforma integrata per la gestione intelligente e sostenibile delle risorse alimentari domestiche. L'obiettivo è quello di coniugare l'efficienza tecnologica con l'impatto sociale e ambientale, in linea con gli obiettivi dell'Agenda 2030 e con le più recenti direttrici della ricerca in ambito food-tech.

Una prima linea di estensione riguarda l'integrazione di tecnologie avanzate per l'automazione e l'arricchimento semantico dei dati. Ad esempio, l'introduzione di moduli di computer vision e OCR consentirebbe di riconoscere automaticamente i prodotti attraverso la fotografia di scontrini, etichette o codici a barre, riducendo sensibilmente l'input manuale e migliorando l'accuratezza delle informazioni registrate e, parallelamente, la connessione con dispositivi IoT, come frigoriferi intelligenti, bilance connesse o sensori di temperatura, permetterebbe un monitoraggio continuo e

automatizzato delle scadenze e delle quantità, abilitando una gestione realmente proattiva delle risorse alimentari.

Un ulteriore ambito di sviluppo riguarda l'introduzione di modalità di interazione vocale e multimodale, attraverso l'integrazione con assistenti vocali come Alexa, Google Assistant o Siri, nonché con smart display e dispositivi domotici da cucina: tale evoluzione consentirebbe di semplificare ulteriormente l'esperienza d'uso, rendendo possibile la consultazione dell'inventario, la registrazione dei prodotti o la pianificazione dei pasti mediante comandi vocali o interazioni gestuali e, in tal modo, FoodFlow si avvicinerebbe sempre più al paradigma della domotica, favorendo un'interazione naturale e continua tra l'utente, l'ambiente domestico e la tecnologia.

Dal punto di vista dell'intelligenza artificiale, un ulteriore sviluppo riguarda l'adozione di modelli di machine learning locale, capaci di apprendere dai comportamenti individuali senza necessità di inviare dati a servizi esterni.

Sotto il profilo funzionale, il sistema potrà evolversi verso l'integrazione di strumenti di pianificazione economica. La possibilità di associare i prodotti a dati reali sui prezzi permetterebbe di sviluppare moduli di budget planning domestico, contribuendo all'ottimizzazione dei costi alimentari e alla consapevolezza di consumo. L'integrazione con piattaforme di delivery e supermercati online, invece, consentirebbe di sincronizzare automaticamente l'inventario con gli ordini e le scadenze, abilitando flussi di approvvigionamento completamente automatizzati e sostenibili.

Dal punto di vista analitico, un'importante estensione riguarda lo sviluppo di analytics predittive e modelli di anticipazione degli sprechi, capaci di identificare tendenze di consumo e suggerire azioni preventive basate su dati storici. Questi strumenti permetterebbero di evolvere da una logica reattiva a una logica predittiva, supportando l'utente in scelte alimentari più consapevoli e sostenibili.

Infine, la prospettiva di un'evoluzione commerciale del sistema apre riflessioni su modelli di business: il prototipo non contempla meccanismi di monetizzazione o partnership, ma future versioni potrebbero adottare strategie freemium, collaborazioni con retailer o modelli basati su servizi premium di consulenza alimentare.

In sintesi, le prospettive evolutive di FoodFlow delineano un percorso di maturazione tecnologica e sistemica che, oltre a consolidare l'affidabilità e la scalabilità del prototipo, mira a rafforzarne la dimensione etica e sociale. Inoltre, l'integrazione di tecnologie emergenti, l'apertura verso

ecosistemi digitali esterni e l'attenzione alla user experience pongono le basi per la realizzazione di una applicazione capace non solo di ridurre lo spreco alimentare, ma di trasformare il comportamento quotidiano in una pratica consapevole e sostenibile.

Riconoscimenti

Questa tesi è realizzata nell'ambito del progetto NODES, finanziato dal MIUR sui fondi M4C2 – Investimento 1.5 Avviso “Ecosistemi dell’Innovazione”, nell'ambito del PNRR finanziato dall’Unione Europea – NextGenerationEU (Grant agreement Cod. n. ECS00000036).

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine al mio relatore, Prof. Maurizio Galetto, alla correlatrice, Prof.ssa Elisa Verna, e all’Ing. Alberto Piovano per la disponibilità, il costante supporto e i preziosi consigli che hanno reso possibile la realizzazione di questo lavoro. La loro competenza e la loro guida sono stati fondamentali durante tutto il percorso di ricerca e di stesura della tesi.

Allegati

A. Script classificazione BERTopic

```
import pandas as pd
from bertopic import BERTopic
from sentence_transformers import SentenceTransformer
import re
from collections import Counter
import nltk
from nltk.stem import WordNetLemmatizer
from itertools import chain

# Scarica risorse NLTK se necessario
try:
    nltk.data.find('corpora/wordnet')
except LookupError:
    nltk.download('wordnet')
try:
    nltk.data.find('corpora/omw-1.4')
except LookupError:
    nltk.download('omw-1.4')

lemmatizer = WordNetLemmatizer()

# --- Preprocessing function ---
def preprocess(text):
    text = text.lower()
    text = re.sub(r'[^\w\s]', '', text)
    text = re.sub(r'\s+', ' ', text)
    text = re.sub(r'\bfood\b', '', text)
    text = re.sub(r'\bwaste\b', '', text)
    return text.strip()

# Stopwords base inglese + custom + parole generiche del dominio
stopwords = set([
    'the', 'and', 'to', 'of', 'in', 'a', 'for', 'on', 'is', 'with', 'as', 'by', 'an', 'at', 'from', 'that', 'this', 'be', 'are', 'it', 'or', 'has',
    'have', 'was', 'but', 'not', 'which', 'can', 'we', 'will', 'their', 'its', 'also', 'using', 'used', 'into', 'such', 'more', 'than',
```

```

'been', 'were', 'these', 'may', 'all', 'one', 'other', 'our', 'had', 'they', 'between', 'after', 'over', 'during', 'each', 'most',
'no', 'new', 'study', 'results', 'data', 'analysis', 'research', 'based', 'show', 'used', 'using', 'waste', 'food',

# Parole generiche del dominio
'household', 'reduce', 'reduction', 'management', 'strategies', 'consumption', 'system', 'user', 'social',
'management', 'strategy', 'strategies', 'users', 'systems',

# Nuove stopwords generiche e di dominio
'about', 'households', 'consumer', 'consumers', 'impact', 'effects', 'role', 'approach', 'approaches', 'perspective',
'perspectives', 'case', 'cases', 'example', 'examples', 'focus', 'aim', 'aims', 'paper', 'review', 'current', 'future',
'important', 'significant', 'various', 'different', 'related', 'including', 'within', 'among', 'across', 'towards', 'toward',
'regarding', 'regard', 'due', 'result', 'findings', 'provide', 'provided', 'provides', 'use', 'well', 'however', 'therefore',
'thus', 'could', 'would', 'should', 'might', 'must', 'cannot'
])

```

```

# Leggi il file CSV

```

```

input_file = "paper rilevanti.csv"
df = pd.read_csv(input_file, sep=';')

```

```

# Unisci titolo e abstract in un unico testo e preprocessa

```

```

texts = [preprocess(f"{row['Title']}. {row['Abstract']}") for _, row in df.iterrows()]

```

```

# Usa un embedding più potente

```

```

embedding_model = SentenceTransformer("paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2")

```

```

# Parametri più aggressivi per BERTopic

```

```

# - min_topic_size=2: cluster anche piccoli
# - n_gram_range=(1,3): considera anche frasi di 2-3 parole
# - calculate_probabilities=True: utile per analisi successive
# - verbose=True: stampa info

```

```

# Puoi anche provare a cambiare hdbscan__min_samples o hdbscan__min_cluster_size

```

```

bertopic_params = {
    'embedding_model': embedding_model,
    'language': "multilingual",
    'min_topic_size': 2,
    'n_gram_range': (1, 3),
    'calculate_probabilities': True,
    'verbose': True
}

```

```
}
```

```
topic_model = BERTopic(**bertopic_params)
```

```
clusters, _ = topic_model.fit_transform(texts)
```

```
df['Cluster'] = clusters
```

```
# --- Etichette intelligenti: n-grammi, lemmatizzazione, top 5 ---
```

```
def get_ngrams(words, n):
```

```
    return [' '.join(words[i:i+n]) for i in range(len(words)-n+1)]
```

```
def get_top_ngrams(texts, ngram_range=(1,3), topn=5):
```

```
    ngram_counter = Counter()
```

```
    for t in texts:
```

```
        tokens = [lemmatizer.lemmatize(w) for w in t.split() if w not in stopwords]
```

```
        for n in range(ngram_range[0], ngram_range[1]+1):
```

```
            ngram_counter.update(get_ngrams(tokens, n))
```

```
    # Rimuovi n-grammi che contengono solo stopwords
```

```
    filtered = [ng for ng, _ in ngram_counter.most_common() if not all(w in stopwords for w in ng.split())]
```

```
    return ' '.join(filtered[:topn]) if filtered else 'No label'
```

```
labels = {}
```

```
for cluster in set(clusters):
```

```
    cluster_texts = [texts[i] for i, c in enumerate(clusters) if c == cluster]
```

```
    labels[cluster] = get_top_ngrams(cluster_texts, ngram_range=(1,3), topn=5)
```

```
df['Label'] = [labels[c] for c in clusters]
```

```
df.to_csv("paper_clusterizzati.csv", sep=';', index=False)
```

```
print("Clusterizzazione completata con etichette intelligenti (n-grammi, lemmatizzazione, top 5). Risultato salvato  
in 'paper_clusterizzati.csv'.")
```

```
# --- Visualizzazione dei risultati ---
```

```
try:
```

```
    import matplotlib.pyplot as plt
```

```
    import seaborn as sns
```

```
    from wordcloud import WordCloud
```

```

import umap
except ImportError as e:
    print("Per visualizzare i grafici, installa le librerie mancanti:")
    print("pip install matplotlib seaborn wordcloud umap-learn")
    raise e

```

1. Istogramma: Numero di paper per cluster

```

plt.figure(figsize=(8,5))
sns.countplot(x='Cluster', data=df, order=sorted(df['Cluster'].unique()))
plt.title('Numero di paper per cluster')
plt.xlabel('Cluster')
plt.ylabel('Numero di paper')
plt.tight_layout()
plt.savefig("istogramma_paper_per_cluster.png") # Salva il grafico
plt.show()

```

2. Barplot: Top n-grammi (etichette) per cluster

```

plt.figure(figsize=(10,6))
sns.barplot(x=list(labels.keys()), y=[len([c for c in clusters if c==k]) for k in labels.keys()], hue=list(labels.values()))
plt.title('Numero di paper e etichette per cluster')
plt.xlabel('Cluster')
plt.ylabel('Numero di paper')
plt.legend(title='Etichette', bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc='upper left')
plt.tight_layout()
plt.savefig("barplot_etichette_per_cluster.png") # Salva il grafico
plt.show()

```

3. Wordcloud delle parole chiave per ogni cluster

```

for cluster in sorted(labels.keys()):
    cluster_texts = ' '.join([texts[i] for i, c in enumerate(clusters) if c == cluster])
    wc = WordCloud(width=800, height=400, background_color='white',
stopwords=stopwords).generate(cluster_texts)
    plt.figure(figsize=(8,4))
    plt.imshow(wc, interpolation='bilinear')
    plt.axis('off')
    plt.title(f'Wordcloud Cluster {cluster} - {labels[cluster]}')
    plt.savefig(f"wordcloud_cluster_{cluster}.png") # Salva il grafico
    plt.show()

```

4. UMAP: Visualizzazione 2D dei paper nello spazio dei topic

try:

```
embeddings = topic_model.transform(texts)[1] # Ottieni gli embeddings
reducer = umap.UMAP(random_state=42)
umap_embeds = reducer.fit_transform(embeddings)
plt.figure(figsize=(8,6))
scatter = plt.scatter(umap_embeds[:,0], umap_embeds[:,1], c=clusters, cmap='tab10', alpha=0.7)
plt.title('Distribuzione dei paper nei cluster (UMAP)')
plt.xlabel('UMAP 1')
plt.ylabel('UMAP 2')
plt.colorbar(scatter, label='Cluster')
plt.tight_layout()
plt.savefig("umap_clusters.png") # Salva il grafico
plt.show()
```

except Exception as e:

```
print("UMAP non disponibile o errore nella visualizzazione 2D:", e)
```

--- Grafico a bolle: Cluster vs Numero di paper con dimensione proporzionale ---

```
plt.figure(figsize=(10,6))
```

Calcolo dimensione bolle proporzionale al numero di paper per cluster

```
cluster_counts = df['Cluster'].value_counts().sort_index()
```

```
bubble_sizes = cluster_counts.values * 50 # scala moltiplicativa per rendere le bolle visibili
```

Creazione scatter plot (grafico a bolle)

```
plt.scatter(
    x=cluster_counts.index,
    y=cluster_counts.values,
    s=bubble_sizes, # dimensione delle bolle
    alpha=0.6,
    edgecolors='w',
    c=cluster_counts.index, # colore per cluster
    cmap='tab10'
)
```

Etichette e titolo

```
plt.title('Grafico a bolle dei cluster')
```

```
plt.xlabel('Cluster')
plt.ylabel('Numero di paper')
for i, txt in enumerate(cluster_counts.index):
    plt.text(txt, cluster_counts.values[i], labels[txt], ha='center', va='center', fontsize=9, color='black')

plt.tight_layout()
plt.savefig("grafico_a_bolle_cluster.png") # Salva il grafico
plt.show()

# Fine visualizzazioni
```


B. Tabella - Articoli

Titolo Articolo	Anno	Autore	Citazioni	Categoria	Strategia d'intervento	Cause affrontate	Soluzione proposta	Risultati ottenuti / impatto	Problemi all'adozione	App citate	Note	Fase	FW gerarchia	Livello implementazione	Contesto geografico	Categoria Venn
A Data Driven Approach to Reducing Household Food Waste	2022	Woolley, Luo, Jellil, Simeone	9	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Acquisti eccessivi, scarsa pianificazione	Personalizzazione ricette, ottimizzazione acquisti	Potenziale riduzione dello spreco	Complessità algoritmo, necessità di integrazione con sistemi esistenti		Integra preferenze, date scadenza	Pianificazione	Prevenzione	Prototipo		T
A Randomized Controlled Trial to Address Consumer Food Waste with a Technology-aided Tailored Sustainability Intervention	2022	Roe, Qi, Beyl, Neubig, Apolzan, Martin	24	Educazione, Consapevolezza e Gamificazione	Educazione e consapevolezza a tramite app/interventi digitali	Poca consapevolezza	Interventi tecnologici al fine di supportare il consumatore	Riduzione spreco domestico (24% sul gruppo identificato)			Campione volontario, risultati su linea generale non troppo attendibili	Consumo, Preparazione	Prevenzione	Implementazione	USA	T,E
Analysing behavioural and socio-demographic factors and practices influencing Australian household food waste	2021	Ananda, Karunasena, Mitis, Kansal, Pearson	69	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Fattori socio-demografici, poca organizzazione, acquisti impulsivi	Avere routine chiare e definite, pianificazione e liste della spesa	Relazioni tra variabili familiari e spreco alimentare	Difficoltà nel cambiare abitudini	FoodImage	In linea con interventi in ambito salute e benessere	Pianificazione, Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Teorico	Australia	C
Association Between Socio-Demographic Characteristics and	2024	Stacchini, Nucci, Romano, Villa, Passeri, Ferranti, Gianfredi	1	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Fattori socio-demografici	Studio su variabili socio-demografiche	Studio sullo spreco domestico tra studenti e associazione tra			Incentrato su studenti	Pianificazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione		Italia	C

Household Food waste Behaviors Among University Students in Italy								caratteristiche socio-semografiche e spreco domestico									
Can we reduce waste and waist together through EUPHORIA ?	2014	Yalvac, Funk, Hu, Rauterberg	5	Educazione, Consapevolezza e Gamification	Educazione e consapevolezza a tramite app/interventi digitali	Abitudini alimentari, spreco di cibo	Educazione alimentare, suggerimento ricette	Riduzione spreco		Inserimento manuale dei dati e scelta di ciò che si vuole condividere con gli altri utenti	Consumo	Prevenzione, Riutilizzo	Prototipo	Paesi Bassi	E		
Colour coding the fridge to reduce food waste	2012	Farr-Wharton, Foth, Choi	35	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App di gestione inventario / frigorifero	Errata conservazione alimenti	Codifica a colori	Possibile riduzione spreco e maggiore attenzione alle scadenze		Frigorifero	Conservazione	Prevenzione	Pratico	Australia	T,E		
Designing an AI-Assisted Mobile Phone Application with Food Consumption Management Model to Prevent Household Food Waste in Urban Residents of Jakarta	2025	Alfiora, Gumulya	0	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App con assistenza AI o algoritmi intelligenti	Acquisti eccessivi e spreco	Assistenza AI per offrire pianificazione dei pasti, gestione della dispensa e tracking dello spreco domestico	Effettiva riduzione dello spreco domestico, lista della spesa evita acquisti eccessivi	Plan To eat, NoWaste, AnyList	Indonesia, focus su User experience per "satisfaction", Table 1dx	Pianificazione	Prevenzione	App in sviluppo	Indonesia	T		
Determinants of consumer food waste behaviour : Two routes to food waste	2015	Stancu, Haugaard, Lahteenmaki	797	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Routine relative all'acquisto o all'utilizzo degli avanzi	Shopping routine	Identificazione delle routine dove si spreca di più			Pianificazione, Consumo, Preparazione, Acquisto	Prevenzione, Riutilizzo	Teorico	Danimarca	C		

Digital platforms for food waste reduction: The value for business users	2023	Amaral, Orsato	31	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per la redistribuzione del cibo / food sharing	Cibo prossimo alla scadenza	Donazione (a prezzi agevolati) di cibi prossimi alla scadenza	Riduzione spreco, minor costo di transazioni e minori inefficienze interne, maggior beneficio economico	Focus su B2B, poco incentrato sullo spreco domestico ma più a livello supply chain, circoscritto al Brasile	Pianificazione, Acquisto	Prevenzione, Riutilizzo				T
Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	2020	Cane, Parra	85	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Poca consapevolezza, condizioni socio-economiche, mancanza pianificazioni spesa -> acquisti eccessivi, scadenza	App per monitoraggio scorte e scadenze	Piattaforme digitali necessarie per combattere lo spreco alimentare (premettendo un'educazione dei consumatori), mappatura delle tecnologie esistenti	Pepperplate, UBO, Eco dal frigo, PucciFrigo, Too Good To Go, weSAVE eat, Eat you later, Myfoody, Bring the food, LastMinuteSotto Casa, OLIO	Piattaforme non catalogate, mancanza di riferimenti bibliografici, difficoltà a reperire dati	Pianificazione	Prevenzione, Riutilizzo	Caso studio	Italia, Spagna	T
Dimensions of Household Food Waste Focused on Family and Consumers	2022	Gonzalez-Santana, Blesa, Frigola, Esteve	24	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Cause spreco domestico, acquisti eccessivi, poca pianificazione		Studio sullo spreco domestico	Supply chain	Pianificazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Teorico	Spagna		C
Domestic food practices: A study of food management behaviors and the role of food preparation planning	2017	Romani, Grappi, Bagozzi, Barone	193	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Disorganizzazione e conservazione degli alimenti, scarsa pianificazione, riuso avanzati	Intervento educativo al fine di ridurre lo spreco	Possibile riduzione di spreco domestico a seguito di un intervento educativo		Pianificazione, Consumo, Preparazione, Conservazione	Prevenzione, Riutilizzo	Teorico	Italia		C

in
reducing
waste

Eatchafood: Challenging technology design to slice food waste production	2013	Wharton, Foth, Choi	20	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Pianificazione inefficace	Scadenze, suggerimento ricette e lista della spesa	Riduzione spreco e migliore consapevolezza gestione scorte	Inserimento manuale dei dati		Pianificazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Prototipo	Australia	T
Eco-feedback for non-consumption	2014	Lim, Janmaat, Jense, Funk	6	Educazione, Consapevolezza e Gamificazione	Gamification e coinvolgimento utente	Spreco domestico	Eco-feedback, app	Possibile impatto sulla riduzione dello spreco	Eatchafood	Implementato in una casa con studenti	Consumo	Prevenzione	Prototipo		E
Enhancing Food Sustainability Through Technological Innovation: A paradigmatic Approach to Minimizing Household Food Wastage via an AI-Enabled Application	2024	Kumar, Iqbal, Chaturvedi, Anil	0	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App con assistenza AI o algoritmi intelligenti	Eccesso di cibo	Riconoscimento barcode per capire la scadenza, gamificazione	Maggiore consapevolezza e attesa una riduzione dello spreco	Privacy		Consumo	Prevenzione	App funzionante	Emirati arabi	T

Explorative study about the analysis of storing, purchasing and wasting food by using household diaries	2017	Ricther, Bokelman	52	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Abitudini d'acquisto, conservazione e spreco	Utilizzo di diari domestici	Impatto sulla riduzione dello spreco e monitoraggio continuo tramite i diari		Diario domestico	Acquisto, Conservazione	Prevenzione	Pratico	Germania	C	
Exploring the potential of AI-driven food waste management strategies used in the hospitality industry for application in household settings	2024	Q. Clark, Kanavikar, J. Clark, Donnelly	1	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App con assistenza AI o algoritmi intelligenti	Eccesso di cibo, pianificazioni inefficace, scadenze	Possibile suggerimento lista della spesa intelligente e ricette	Implementato nella ristorazione, potrebbe avere un impatto positivo nell'ambito domestico, impatto economico	Tutto ciò che concerne AI	Olio, Too Good To Go	Attualmente non implementato, ma come prospettiva futura	Consumo, Preparazione, Conservazione	Prevenzione, Riutilizzo	Caso studio	USA	T
Exspiro-Mobile Application for Food Sustainability	2023	Pajpach, Sekerak, Kucera, Haffner, Pribis, Beno, Janecky	1	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Scadenze, eccesso di cibo	Suggerimento ricette, promemoria scadenze, statistiche, lista della spesa	Riduzione spreco	Exspiro	Table 1	Consumo	Prevenzione	App implementata	Slovacchia	T	
Fridge Inventory Management to Reduce Household Food Wastage	2020	Wijava, Yohansen, Jeremy, Oktavia	3	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App di gestione inventario / frigorifero	Scarsa gestione delle scorte domestiche, scadenze	Promemoria scadenze, suggerimenti ricette, condivisione frigo	Riduzione dello spreco alimentare domestico attraverso una migliore gestione delle scorte		App specifica per gestione frigo	Conservazione	Prevenzione	Prototipo	Indonesia	T	

Generational differences in food management skills and their impact on food waste in households	2021	Karunasena, Ananda, Pearson	62	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Gestione alimentare in base alla generazione di appartenenza, fattori socio-economici, acquisti impulsivi	Possibile aiuto della tecnologia per i giovani consumatori	I giovani sprecano più cibo		Teorico	Pianificazione, Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Teorico	Australia	C
Household Food Waste Reduction Determinants in Hungary	2025	Keller, Gombos	0	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Responsabilità personali, acquisti impulsivi	Promozione e comportamenti virtuosi	Fattori che influenzano lo spreco domestico		Più incentrato sui fattori comportamentali che su app	Consumo	Prevenzione		Ungheria	C
How a mobile app can become a catalyst for sustainable social business: The case of Too Good To Go	2023	Va-Thanh, Zaman, Hasan, Rather, Lombardi, Secundo	81	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per la redistribuzione del cibo / food sharing		App per la redistribuzione del cibo	Riduzione spreco, missione sociale	Too Good To Go	Più incentrato lato ristorazione	Acquisto	Riutilizzo	App implementata	Europa	T
How to reduce consumer food waste at household level: A literature review on drivers and levers for behavioural change	2023	Vittuari, Herrero, Masotti, Iori, Caldeira, Qian, Bruns, van Herpen, Obersteiner, Kaptan, Liu, Mikkelsen, Swannel, Kasza, Nohlen, Sala	54	Review della Letteratura e Studi Teorici	Review della Letteratura e Studi Teorici	Fattori socio-culturali, acquisti eccessivi		Revisione letteratura			Pianificazione, Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione			C

Intelligent fruit maturity assessment platform using convolutional neural network: IFMAP	2020	Rezgui, Trepanier, Genois, Claden, Ameziani	0	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App con assistenza AI o algoritmi intelligenti	Spreco frutta e verdura	Piattaforma che tramite il riconoscimento di immagini mostra il grado di maturazione della frutta, promemoria			IFMAP	CNN	Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Prototipo	Canada	T
Iterative Feedback-Enhanced Prompting : A Green Algorithm for Reducing Household Food Waste	2024	Wang	0	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App con assistenza AI o algoritmi intelligenti	Comportamenti inefficienti, scadenze	Algoritmo che fornisce feedback, IFEP framework che genera output personalizzati, monitora scadenze e genera ricette	Possibile riduzione sprechi alimentari	Competenze tecniche	SmartFridge 2.0	Testato con poche persone	Consumo, Preparazione, Pianificazione	Prevenzione	Prototipo	USA	T
Kolkas: Developing a Mobile Application for Sustainable Food Waste Management	2024	Wijaya, Kusumawati, Febriantono	0	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Scadenze, eccesso di cibo, scarsa pianificazione	Promemoria scadenze, vendita avanzi	Potenziale riduzione spreco ed educazione dei cittadini		Kolkas	Non implementata, UI facile da usare più attrattiva. Indonesia	Preparazione	Prevenzione	Prototipo	Indonesia	T
Less Is More: preventing Household Food Waste through an Integrated Mobile Application	2023	Castro, Chitikova, Magnanu, Merkle, Heitmayer	7	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Spreco domestico negli stati sviluppati	Smart inventory, smart recipes, food-sharing hub, portion-ready food delivery	Possibile riduzione dello spreco tramite design di ciò che dovrà avere una futura app	Non implementata, ma solo teorica	No Waste, Plus Fridge Pal, Hello Fresh, Too Good to Go, MyFoody, FoodCloud, EquoEvento, FoodSha	Futura implementazione	Acquisto, Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Prototipo	UK	T,E

										ring.de, iFoodShare, LastMinuteSotto Casa, S-Cambia Cibo								
Managing Food Waste Through Gamification and Serious Games	2025	Santos, Seivas, Carvalho	1	Educazione, Consapevolezza e Gamification	Gamification e coinvolgimento utente	Mancanza di consapevolezza, scadenze	Gamification, coinvolgimento utente	Aumento consapevolezza, cambiamenti comportamentali, riduzione spreco domestico	Coinvolgimento	PadovaGoGreen, MySusCof, FoodFighters, FridgeSort, Expiro	Utilizzo di teoria psicologica e comportamentali	Consumo	Prevenzione	Prototipo	Portogallo	E		
Managing Household Food Waste with the FoodSave SHare Mobile Application	2024	Mastorakis, Kopanakis, Chroni, Synani, Lasaridi, Abeliotis, Loiloudakis, Daliakopoulos, Manios	7	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Acquisti eccessivi, scarsa pianificazione, scadenze	Suggerimenti ricette, statistiche consumo, lista della spesa, promemoria scadenze	Impatto positivo e riduzione spreco	Persone riluttanti all'adozione di nuove tecnologie, privacy	FoodSaveShare App	Non considera se parte del prodotto è consumata e il resto viene buttato, adottata da supermercati	Consumo	Prevenzione	App implementata	Grecia	T		
Mobile applications to reduce food waste within Canada: A review	2022	Hanson, Ahmadi	11	Review della Letteratura e Studi Teorici	Review della Letteratura e Studi Teorici	Spreco domestico e ridistribuzione cibo	App per la redistribuzione del cibo e app per la gestione della dispensa, sistema di alert per scadenze e raccomandazione ricette	Riduzione spreco domestico	Barriere tecnologiche	Pantry, FridgeCam, FoodEd	Studio su dati autoriferiti, non verificati	Pianificazione, Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	App	Canada	T		
Mottainai! -A practice theoretical analysis of Japanese consumers' food waste reduction	2019	Sirola, Sutinen, Narvanen, Mesiranta, Mattila	34	Educazione, Consapevolezza e Gamification	Educazione e consapevolezza tramite app/interventi digitali	Poca consapevolezza, acquisti eccessivi	Studio su un campione per intercettare e pratiche da seguire	Aumento consapevolezza	Contesto sociale		Pianificazione, Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Teorico		Giappone	C		

Quantification and determination of household food waste and its relation to sociodemographic characteristics in Croatia	2020	Ilakovac, Voca, Pezo, Cerjak	97	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Fattori socio-demografici		Classificazioni spreco in base a fattori socio-demografici		Pura classificazione e correlazioni tra variabili	Consumo, Preparazione, Conservazione	Prevenzione	Teorico	Croazia	C
Reducing consumer food waste using green and digital technologies	2021		0	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Fattori individuali, economici, sociali, culturali, acquisti eccessivi	Promemoria scadenze (invia notifiche), notifiche di riordino, app che danno info su nutrizione e impatto ambientale, pianificazioni dei pasti e gestione delle scorte	Con una combinazione di interventi (governativi, comportamentali e tecnologici) si assiste a una riduzione dello spreco domestico	Funzionalità limitate, aggiornamenti infrequenti, informazioni incomplete da fonti inattendibili	MyKura, FoodTreK, Evocco, AnyList, Magic Fridge, Empty the Fridge, NoWaste, Too Good To Go, OLIO	Acquisto, Conservazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione			T,C
Reducing food waste: Exploring needs for an app for users in different cultures and at different life stages	2023	Alijubairah, Petrie	1	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Acquisti eccessivi, fattori individuali, scarsa pianificazione	Capire i bisogni dei clienti	Fattori che influenzano lo spreco domestico	Diversità culturale		Pianificazione	Prevenzione		Arab, UK	T,C
Review: Consumption-stage food waste reduction interventions	2019	Reynolds, Goucher, Qusted, Bromley, Gillick, Wells, Evans, Koh,	333	Review della Letteratura e Studi Teorici	Review della Letteratura e Studi Teorici	Porzioni eccessive, poca consapevolezza	Revisione letteratura esistente	Possibile riduzione spreco domestico fino al 57%	Necessità di cambiamenti comportamentali	Mancanza di quantificazione accurata riduzione spreco app	Consumo	Prevenzione, Riutilizzo	Teorico		T, C, E

[illegible]

Smart Refrigerator for Enhancing User Convenience and Food Management	2024	Bandaru, Mamidi, Siddareddy, Thangam, Gurupriya	1	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App di gestione inventario / frigorifero	Inefficienza nella gestione degli alimenti	Frigorifero dotato di sensori che tramite app aiuta nella gestione delle scorte, gestione della spesa e riordino			ThingSpeak	Frigorifero	Conservazione	Prevenzione	Prototipo	India	T
Social recipe Recommendation to Reduce Food waste	2014	Yalvac, Lim, Hu, Funk, Rauterberg	16	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Spreco dovuto a mancanza di idee per utilizzo cibo, scadenze	Condivisione e suggerimento ricette	Riduzione spreco		Euphoria	Focus su condivisione tra utenti	Preparazione	Riutilizzo	App	Paesi Bassi	T,E
Sustainable Household Food Management Using Smart Technology	2019	Phiri, Trevorrow	10	Tecnologie Digitali e Applicazioni Mobili	App per suggerimenti ricette, promemoria scadenze e lista della spesa	Scadenze, gestione inefficiente	Notifiche SMS, reminder scadenze	Riduzione del 10% spreco alimentare, migliore gestione delle scorte		FoodTrack, Olio, Too Good To Go	App provata su un numero ristretto di utenti (30)	Pianificazione, Conservazione, Preparazione	Prevenzione		UK	T
Technological solutions and consumer behaviour in mitigating food waste: A global assessment across income levels	2025	Agya	0	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Acquisti eccessivi, conservazione impropria, scarsa consapevolezza scadenza ed deterioramento degli alimenti	Sensori IoT per il monitoraggio; AI, machine learning per la gestione; monitoraggio inventario e pianificazione pasti	Possibile riduzione spreco domestico che varia in base al reddito	Diversi livelli di reddito (accessibilità alla tecnologia)	Too Good To Go, Olio		Pianificazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Teorico	Germania	T,C
Towards food waste interventions: An exploratory approach	2013	Ganglbauer	2	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Inefficienza nella gestione degli alimenti	Possibile piattaforma per la condivisione del cibo	Comprensione tramite le interviste dei problemi legati alla gestione		Foodsharing.de		Pianificazione	Prevenzione	App sviluppata	Austria	C

[illegible]

What influences consumer food waste in urban households? Guidelines for communication strategies in Portugal	2023	Simoes, Pinto-Varela, de Matos, Carvalho	4	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Analisi Comportamentale e Socio-Demografica	Cause dello spreco domestico	Strategie di comunicazione al fine di mitigare lo spreco domestico	Classificazione dei consumatori in base allo spreco	Più incentrato sulla comunicazione	Pianificazione, Consumo, Preparazione	Prevenzione	Teorico	Portogallo	C
--	------	--	---	---	---	------------------------------	--	---	------------------------------------	---------------------------------------	-------------	---------	------------	---

C. Tabella – Classificazione app

App	Articolo	Funzionalità chiave	Disponibile	FW gerarchia	Note	Fonte (se diversa da articolo citato)
AnyList	Designing an AI-Assisted Mobile Phone Application with Food Consumption Management Model to Prevent Household Food Waste in Urban Residents of Jakarta	Liste spesa, organizer ricette, pianificazione pasti	SI	Prevenzione	No focus su scadenze e spreco	
Eat you later	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Inventario, notifiche, ricette	NO	Prevenzione	No diffusione	
Eatchafood	Eatchafood: Challenging technology design to slice food waste production	scadenze, ricette, lista della spesa, feedback	NO	Prevenzione	No diffusione	
Eco dal frigo	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	inventario frigo, ricette, suggerimenti	NO	Prevenzione	Limitata al frigo	
Empty the Fridge	Reducing consumer food waste using green and digital technologies	Ricette con ingredienti già in casa, evita sprechi	SI	Prevenzione		
EquoEvento	Less Is More: preventing Household Food Waste through an Integrated Mobile Application	Recupero cibo dagli eventi per redistribuzione	SI	Riutilizzo	Non è pensata per uso domestico	
Euphoria	Social recipe Recommendation to Reduce Food waste	promuove la riduzione dello spreco alimentare con gamification, educazione, pianificazione e monitoraggio pasti, ricette	NO	Prevenzione	Focus più comportamentale	

Evocco	Reducing consumer food waste using green and digital technologies	Scansione scontrini, impatto ambientale dei cibi acquistati	NO	Prevenzione	Mancata gestione dell'inventario
Exspiro	Exspiro-Mobile Application for Food Sustainability	Barcode, promemoria scadenze, statistiche, lista della spesa, ricette	NO	Prevenzione	No diffusione
FoodCloud	Less Is More: preventing Household Food Waste through an Integrated Mobile Application	Ridistribuzione di eccedenze alimentari da grandi retailer a enti caritatevoli	SI	Riutilizzo	Non è pensata per uso domestico
FoodFighters	Managing Food Waste Through Gamification and Serious Games	Educativa, gamification per sensibilizzare sullo spreco alimentare	NO	Prevenzione	Non operativa
FoodImage	Analysing behavioural and socio-demographic factors and practices influencing Australian household food waste	Foto + OCR per <i>Shop/Prep/Eat/Toss</i> , tagging motivi/destinazioni spreco, monitoraggio quantitativo e qualitativo	SI	Prevenzione	Impegnativa per l'utente medio
FoodSaveShare	Managing Household Food Waste with the FoodSaveShare Mobile Application	Barcode scan, inventario, scadenze, ricette, statistiche, lista della spesa	NO	Prevenzione	Prototipo
FoodSharing.de	Towards food waste interventions: An exploratory approach	condivisione cibo, rete punti raccolta, comunità	SI	Riutilizzo	Richiede community attiva
FridgeCam	Mobile applications to reduce food waste within Canada: A review	Fotocamera per monitorare contenuti del frigo da remoto, scadenze, AI per suggerimenti	SI	Prevenzione	Necessità di componente hardware
FridgeSort	Managing Food Waste Through Gamification and Serious Games	App sperimentale per organizzazione e monitoraggio del frigo, AI per shelf management	NO	Prevenzione	Prototipo

iFoodShare	Less Is More: preventing Household Food Waste through an Integrated Mobile Application	Scambio alimenti tra utenti vicini (food sharing)	NO	Riutilizzo	Poco utile per la gestione domestica
Kolkas	Kolkas: Developing a Mobile Application for Sustainable Food Waste Management	Barcode scan, promemoria scadenze, vendita avanzi, suggerimenti	NO	Prevenzione	Prototipo
LastMinuteSottoCasa	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Offerte di prodotti alimentari in scadenza da negozi di prossimità	SI	Riutilizzo	Focus su negozi
Magic Fridge	Reducing consumer food waste using green and digital technologies	Suggerisce ricette con ingredienti disponibili	SI	Prevenzione	Non aiuta nella gestione dell'inventario
MyFoody	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Segnalazione sconti alimentari prossimi alla scadenza	NO	Riutilizzo	Incentrata su risparmio
MyKura	Reducing consumer food waste using green and digital technologies	Meal planning, grocery suggestions, tracking delle scorte	SI	Prevenzione	
MySusCof	Managing Food Waste Through Gamification and Serious Games	App per scelte sostenibili alimentari, tracking CO ₂ , spreco e consumo	NO	Prevenzione	Focus su educazione
No Waste	Designing an AI-Assisted Mobile Phone Application with Food Consumption Management Model to Prevent Household Food Waste in Urban Residents of Jakarta	Inventario, Barcode, Scadenze, Statistiche spreco, ricette, lista della spesa	SI	Prevenzione	
OLIO	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Condivisione cibo eccedente tra vicini, riduzione sprechi sociali	SI	Riutilizzo	Necessità di community attiva

PadovaGoGreen	Managing Food Waste Through Gamification and Serious Games	App civica, include anche iniziative per sostenibilità e riduzione sprechi	NO	Prevenzione	Poco utile per la gestione domestica	
Pantry	Mobile applications to reduce food waste within Canada: A review	Gestione scorte domestiche, tracciamento scadenze, liste della spesa	SI	Prevenzione	Manca di suggerimento ricette	
Pepperplate	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Pianificazione pasti, ricette, lista spesa	SI	Prevenzione		
Plan To eat	Designing an AI-Assisted Mobile Phone Application with Food Consumption Management Model to Prevent Household Food Waste in Urban Residents of Jakarta	Gestione ricette, Pianificazione pasti, Lista spesa	SI	Prevenzione		
Plus Fridge Pal	Less Is More: preventing Household Food Waste through an Integrated Mobile Application	Monitoraggio frigorifero, gestione alimenti	SI	Prevenzione	Limitata al frigo	
PucciFrigo	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Monitoraggio frigo e scadenze	SI	Prevenzione	Limitata al frigo	
S-Cambia Cibo	Less Is More: preventing Household Food Waste through an Integrated Mobile Application	Food sharing tra cittadini, piattaforma per segnalare disponibilità di cibo in eccesso	NO	Riutilizzo	Non aiuta nella gestione dell'inventario	
SmartFridge 2.0	Iterative Feedback-Enhanced Prompting: A Green Algorithm for Reducing Household Food Waste	Inventario automatico con AI e notifiche, feedback, scadenze	NO	Prevenzione	Prototipo	
Too Good To Go	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste, Saving food surplus and developing new business	Acquisto cibo invenduto da negozi, sensibilizzazione	SI	Riutilizzo, Prevenzione	Non gestisce il cibo già presente a casa	https://www.crunchbase.com/organization/too-good-to-go

models: Exploring the potential of 'Too Good To Go' at territorial level using web-scraped data, How a mobile app can become a catalyst for sustainable social business: The case of Too Good To Go

UBO	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Inventario, scadenze, notifiche	SI	Prevenzione	
weSAVEeat	Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste	Inventario, scadenze, ricette	NO	Prevenzione	Prototipo
FoodChain - Prevenire lo spreco alimentare		Gamificazione, Shared food economy	SI	Prevenzione	keyword: food waste. piattaforma blockchain sviluppata per la Shared Food Economy, che consente sia alle aziende alimentari che ai clienti di beneficiare della riduzione degli sprechi alimentari. Per creare un ambiente sostenibile, FoodChain creerà un ecosistema gamificato che soddisferà le esigenze sia delle aziende che dei clienti https://www.crunchbase.com/organization/foodchain-preventing-food-waste
7Dish		AI per pianificazione pasti e spesa, consigli nutrizionali	SI	Prevenzione	keyword: food shopping. piattaforma intelligente per la pianificazione dei pasti e la spesa alimentare rivolta alle catene di supermercati e ai loro clienti. Utilizzando algoritmi di intelligenza artificiale, semplifichiamo la pianificazione dei pasti, ottimizziamo la spesa e forniamo consigli nutrizionali personalizzati per consentire alle famiglie di completare la loro routine alimentare settimanale in meno di 5 minuti. https://www.crunchbase.com/organization/7dish
Eatme		Vendita cibo in eccesso a tempo scontato	SI	Riutilizzo	keyword: app food waste. servizio che mette in contatto ristoranti, bar, panetterie e supermercati con clienti alla ricerca di cibo di qualità a un prezzo accessibile. Con l'aiuto di Eatme, le aziende possono vendere il cibo in eccesso ai clienti a un prezzo

				scontato, il che aiuta a ridurre gli sprechi alimentari, le spese e ad attrarre nuovi clienti. La tendenza a "rifiuti zero" è...Uno dei settori in più rapida crescita nel settore della ristorazione. Sostenibilità e consumo responsabile stanno diventando il nuovo standard per ristoranti e produttori alimentari. Eatme è il modo più semplice, conveniente ed efficace per i clienti di muovere i primi passi verso l'obiettivo "rifiuti zero" e per le aziende di ridurre sprechi e costi.	
Foodless	Scanner di barcode e scadenze, notifiche su scadenze	SI	Riutilizzo	keyword: app food waste.	https://www.crunchbase.com/organization/foodless
Half Lemons	Seggermenti ricette da ingredienti a disposizione	SI	Prevenzione	keyword: app food waste. app di ricette progettata per aiutare gli utenti a creare pasti utilizzando ingredienti che hanno già in casa. L'app offre una varietà di ricette, con l'obiettivo di ridurre gli sprechi alimentari suggerendo piatti in base agli ingredienti disponibili. Inoltre, Half Lemons raccoglie le ricette preferite in opuscoli, promuovendo pratiche di cucina sostenibili. L'azienda si concentra sulla creazione di un mondo sostenibile attraverso narrazioni creative e un'istruzione efficace.	https://www.crunchbase.com/organization/half-lemons
toTable	Pianificazione pasti e inventario	SI	Prevenzione	keyword: food waste planning.	https://www.crunchbase.com/organization/totable
FoodNosher	Contenuti su cucina	SI	Prevenzione	keyword: digital platform food. piattaforma digitale che offre quotidianamente articoli e consigli su cibo e cucina. Il sito web si ispira alla dieta paleo e a quella basata su cibi integrali, offrendo una varietà di ricette e consigli di cucina. Condivide inoltre la storia variegata e in continua evoluzione della cucina	https://www.crunchbase.com/organization/foodnosher

ebraica. La piattaforma consente agli utenti di iscriversi a una newsletter per ricevere aggiornamenti regolari.

D. Link – survey

https://docs.google.com/forms/d/1tC7MgDfa-fmmqKxjZmBHvDDinUKukDvUbd8VN_zmQCo/edit#responses

E. Link - repository GitHub progetto FoodFlow

<https://github.com/RossellaPalermo/WebApp-Spreco-domestico>

Bibliografia

- [1] "UNEP Food Waste Index Report 2021 | UNEP - UN Environment Programme." Accessed: Sep. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>
- [2] "Food Waste Index Report 2024 | UNEP - UN Environment Programme." Accessed: Oct. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024>
- [3] "WWF Food Habits Survey 2022 1 Classification: Private".
- [4] "The State of Food Security and Nutrition in the World 2020," *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020*, Jul. 2020, doi: 10.4060/CA9692EN.
- [5] C. Fabi and A. English, "SDG 12.3.1: Global Food Loss Index METHODOLOGY FOR MONITORING SDG TARGET 12.3. AS APPROVED BY THE INTERAGENCY AND EXPERT GROUP ON SGD INDICATORS, 6 NOVEMBER 2018 THE GLOBAL FOOD LOSS INDEX DESIGN, DATA COLLECTION METHODS AND CHALLENGES 2 FAO STATISTICAL DIVISION METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR MONITORING SDG TARGET 12.3. THE GLOBAL FOOD LOSS INDEX DESIGN, DATA COLLECTION METHODS AND CHALLENGES".
- [6] "Farm to Fork Strategy - European Commission." Accessed: Sep. 05, 2025. [Online]. Available: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
- [7] "2024 Food loss and waste masterclass: the basics." Accessed: Sep. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/flw-events/events/events-detail/2024-food-loss-and-waste-masterclass--the-basics/en>
- [8] "(PDF) Methane Emissions from Landfills." Accessed: Sep. 05, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/334151857_Methane_Emissions_from_Landfills
- [9] E. S. Spang *et al.*, "Food Loss and Waste: Measurement, Drivers, and Solutions," *Annu Rev Environ Resour*, vol. 44, no. Volume 44, 2019, pp. 117–156, Oct. 2019, doi: 10.1146/ANNUREV-ENVIRON-101718-033228/CITE/REFWORKS.
- [10] "International Efforts on Wasted Food Recovery | US EPA." Accessed: Sep. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/international-cooperation/international-efforts-wasted-food-recovery>
- [11] E. Papargyropoulou, R. Lozano, J. K. Steinberger, N. Wright, and Z. Bin Ujang, "The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste," *J Clean Prod*, vol. 76, pp. 106–115, Aug. 2014, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2014.04.020.
- [12] C. Reynolds *et al.*, "Review: Consumption-stage food waste reduction interventions – What works and how to design better interventions," *Food Policy*, vol. 83, pp. 7–27, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.FOODPOL.2019.01.009.

- [13] K. Schanes, K. Dobernig, and B. Gözet, "Food waste matters - A systematic review of household food waste practices and their policy implications," *J Clean Prod*, vol. 182, pp. 978–991, May 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.02.030.
- [14] L. R. Deliberador, M. O. Batalha, A. da Silva César, M. Masood Azeem, J. L. Lane, and P. Rodrigues Silva Carrijo, "Why do we waste so much food? Understanding household food waste through a theoretical framework," *J Clean Prod*, vol. 419, p. 137974, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.137974.
- [15] V. Keller and S. Gombos, "Household Food Waste Reduction Determinants in Hungary: Towards Understanding Responsibility, Awareness, Norms, and Barriers," *Foods 2025, Vol. 14, Page 728*, vol. 14, no. 5, p. 728, Feb. 2025, doi: 10.3390/FOODS14050728.
- [16] S. H. Schwartz, "Normative Influences on Altruism," *Adv Exp Soc Psychol*, vol. 10, no. C, pp. 221–279, Jan. 1977, doi: 10.1016/S0065-2601(08)60358-5.
- [17] I. Ajzen, "The theory of planned behavior," *Organ Behav Hum Decis Process*, vol. 50, no. 2, pp. 179–211, Dec. 1991, doi: 10.1016/0749-5978(91)90020-T.
- [18] N. I. Bin Mohamed Yusoff, J. Godsell, and E. Woolley, "Towards zero waste: A comprehensive framework for categorizing household food waste," *Sustain Prod Consum*, vol. 48, pp. 1–13, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.SPC.2024.05.002.
- [19] C. Castro, E. Chitikova, G. Magnani, J. Merkle, and M. Heitmayer, "Less Is More: Preventing Household Food Waste through an Integrated Mobile Application," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/SU151310597.
- [20] G. Mastorakis *et al.*, "Managing Household Food Waste with the FoodSaveShare Mobile Application," *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 2800*, vol. 16, no. 7, p. 2800, Mar. 2024, doi: 10.3390/SU16072800.
- [21] E. Woolley, Z. Luo, A. Jellil, and A. Simeone, "A data driven approach to reducing household food waste," *Sustain Prod Consum*, vol. 29, pp. 600–613, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.SPC.2021.11.004.
- [22] M. Cane and C. Parra, "Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight food waste", doi: 10.1108/BFJ-06-2019-0391.
- [23] "REDUCING CONSUMER FOOD WASTE USING GREEN AND DIGITAL TECHNOLOGIES," 2021.
- [24] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, Mar. 2021, doi: 10.1136/BMJ.N71.
- [25] S. Elo and H. Kyngäs, "The qualitative content analysis process," *J Adv Nurs*, vol. 62, no. 1, pp. 107–115, Apr. 2008, doi: 10.1111/J.1365-2648.2007.04569.X.

- [26] M. Hebrok and C. Boks, "Household food waste: Drivers and potential intervention points for design – An extensive review," *J Clean Prod*, vol. 151, pp. 380–392, May 2017, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.069.
- [27] E. Santos, C. Sevivas, and V. Carvalho, "Managing Food Waste Through Gamification and Serious Games: A Systematic Literature Review," *Information (Switzerland)*, vol. 16, no. 3, Mar. 2025, doi: 10.3390/INFO16030246.
- [28] V. Stancu, P. Haugaard, and L. Lähteenmäki, "Determinants of consumer food waste behaviour: Two routes to food waste," *Appetite*, vol. 96, pp. 7–17, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.APPET.2015.08.025.
- [29] B. S. Wijaya, I. Yohansen, Jeremy, and T. Oktavia, "Fridge inventory management to reduce household food wastage," *Proceedings of 2020 International Conference on Information Management and Technology, ICIMTech 2020*, pp. 153–158, Aug. 2020, doi: 10.1109/ICIMTECH50083.2020.9211142.
- [30] B. J. Nandini, M. L. Sahithi, S. G. Harshika, S. Thangam, and M. Gurupriya, "Smart Refrigerator for Enhancing User Convenience and Food Management," *2nd IEEE International Conference on Networks, Multimedia and Information Technology, NMITCON 2024*, 2024, doi: 10.1109/NMITCON62075.2024.10699055.
- [31] B. A. Agya, "Technological solutions and consumer behaviour in mitigating food waste: A global assessment across income levels," *Sustain Prod Consum*, vol. 55, pp. 242–256, May 2025, doi: 10.1016/J.SPC.2025.02.020.
- [32] F. Yalvaç, M. Funk, V. Lim, M. Rauterberg, and J. Hu, "Social recipe recommendation to reduce food waste," *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, pp. 2431–2436, 2014, doi: 10.1145/2559206.2581226.
- [33] T. Vo-Thanh, M. Zaman, R. Hasan, R. A. Rather, R. Lombardi, and G. Secundo, "How a mobile app can become a catalyst for sustainable social business: The case of Too Good To Go," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 171, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.TECHFORE.2021.120962.
- [34] S. Romani, S. Grappi, R. P. Bagozzi, and A. M. Barone, "Domestic food practices: A study of food management behaviors and the role of food preparation planning in reducing waste," *Appetite*, vol. 121, pp. 215–227, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.APPET.2017.11.093.
- [35] C. C. Alfiora and D. Gumulya, "Designing an AI-Assisted Mobile Phone Application with Food Consumption Management Model to Prevent Household Food Waste in Urban Residents of Jakarta," *10th International Conference on Digital Arts, Media and Technology, DAMT 2025 and 8th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering, NCON 2025*, pp. 773–778, 2025, doi: 10.1109/ECTIDAMTNCON64748.2025.10961990.
- [36] "A new Circular Economy Action Plan", Accessed: Oct. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>

- [37] M. Vittuari *et al.*, “How to reduce consumer food waste at household level: A literature review on drivers and levers for behavioural change,” *Sustain Prod Consum*, vol. 38, pp. 104–114, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.SPC.2023.03.023.
- [38] A. Chalina Wijaya, Y. Ayu Kusumawati, and M. Aldiki Febriantono, “Kolkas : Developing a Mobile Application for Sustainable Food Waste Management,” *Proceedings - 6th International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System, ICIMCIS 2024*, pp. 382–387, 2024, doi: 10.1109/ICIMCIS63449.2024.10956360.
- [39] “ISO 9241-11:2018 - Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts.” Accessed: Oct. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/63500.html>
- [40] P. Jones and A. Cavoukian, “Privacy by Design in Law, Policy and Practice,” 2011, Accessed: Oct. 15, 2025. [Online]. Available: www.privacybydesign.ca
- [41] “ISO 9241-210:2019 - Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems.” Accessed: Oct. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/77520.html>
- [42] “Fogg Behavior Model - BJ Fogg.” Accessed: Oct. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.behaviormodel.org/>
- [43] M. D. Mifflin, S. T. St Jeor, L. A. Hill, B. J. Scott, S. A. Daugherty, and Y. O. Koh, “A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals,” *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 51, no. 2, pp. 241–247, 1990, doi: 10.1093/ajcn/51.2.241.
- [44] K. Tontisirin, “CONTENTS FOREWORD iii PREFACE vii”.
- [45] “Dietary Reference Values for nutrients Summary report,” *EFSA Supporting Publications*, vol. 14, no. 12, Dec. 2017, doi: 10.2903/SP.EFSA.2017.E15121.
- [46] W. H. Organization, “Healthy cities effective approach to a rapidly changing world,” 2020, Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: [https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=4nYOEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=World+Health+Organization+\(2020\).+Healthy+diet:+Key+facts.+Geneva:+WHO.+pdf&ots=fbhit8ENyk&sig=bbRJASM_6Nolnk3u4PquW2paOuA](https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=4nYOEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=World+Health+Organization+(2020).+Healthy+diet:+Key+facts.+Geneva:+WHO.+pdf&ots=fbhit8ENyk&sig=bbRJASM_6Nolnk3u4PquW2paOuA)

Indice delle Figure

Figura 1: Metodologia della ricerca	7
Figura 2: Processo di selezione articoli	25
Figura 3: Output classificazione BERTopic	27
Figura 4: Diagramma di Venn per la classificazione degli articoli	38
Figura 5: FW gerarchia	39
Figura 6: Diagramma Riutilizzo.....	40
Figura 7: Diagramma Prevenzione	40
Figura 8: Risultati survey domanda 6.....	55
Figura 10: Risultati domanda 9 survey	56
Figura 9: Risultati domanda 8 survey	56
Figura 11: Risultati survey sezione C.....	56
Figura 12: Risultati survey sezione D	57
Figura 13: Architectural diagram	63
Figura 14: Use case - Registrazione/Autenticazione.....	67
Figura 15: Use case - Aggiunta alimento in dispensa	68
Figura 16: Use case - Cosa cucino?.....	69
Figura 17: Behaviour Loop	72
Figura 18: Schermata principale FoodFlow	82
Figura 19: Dispensa FoodFlow	83
Figura 20: Meal Planner FoodFlow	83
Figura 21: Analytics FoodFlow	84
Figura 22: FoodFlow Bot.....	84
Figura 23: Sezione Sponsorizzazioni FoodFlow	85

Indice delle tabelle

Tabella 1: Classificazione articoli	37
Tabella 2: Tecnologie e funzionalità per la prevenzione dello spreco alimentare domestico	41
Tabella 3: Tecnologie e funzionalità per il riutilizzo e la redistribuzione degli alimenti	42
Tabella 4: Fasi del consumo alimentare, cause dello spreco e soluzioni digitali associate.....	43
Tabella 5: Sintesi classificazione applicazioni digitali	47
Tabella 6: Sintesi fattori comportamentali: cause principali e soluzioni tecnologiche proposte.....	52
Tabella 7: Gap rilevati e opportunità di intervento	54
Tabella 8: Barriere emerse.....	58
Tabella 9: Funzionalità emerse	64
Tabella 10: Casi d'uso	66