



UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO
EMILIA**

Dipartimento di Scienze chimiche e geologiche

Corso di Laurea Magistrale in Didattica e Comunicazione delle Scienze

**Sviluppo di protocolli per attività didattiche e laboratoriali
incentrate su alimentazione, sostenibilità e ambiente per la
scuola secondaria**

Relatore:

Prof. Roberto Simonini

Laureanda

Dott.ssa Maria Sole Zalaffi

Correlatore:

Dott.ssa Raffaella Spagnuolo

Anno Accademico 2024/2025

Indice

1. Introduzione.....	1
1.1 L'alimentazione sostenibile.....	1
1.2 Attività didattiche e laboratoriali incentrate sull'alimentazione sostenibile: stato dell'arte.....	7
1.3 Macro e micronutrienti.....	18
1.4 Cenni sull'apparato digerente.....	39
2. Obiettivi della tesi.....	47
3. Materiali e metodi.....	50
3.1 Il questionario docenti.....	50
3.2 L'analisi statistica dei dati.....	56
3.3 Materiali per le attività laboratoriali didattiche.....	59
4. Discussione dei risultati ed elaborazione dei protocolli didattici.....	61
4.1 Discussione dei dati raccolti mediante il questionario docenti.....	61
4.2 Protocolli didattici per la scuola secondaria di primo grado.....	72
4.3 Protocolli didattici per il primo biennio della scuola secondaria di secondo grado..	86
4.4 Proposte per ulteriori protocolli didattici.....	97
5. Conclusioni e prospettive per il futuro.....	110
6. Bibliografia e sitografia.....	116

1. Introduzione

1.1 L'alimentazione sostenibile

“Gli uomini sono mangiati dal cibo. Il cibo ci mangia perché mangia la Terra, le sue risorse, la sua possibilità di rinnovarsi. E siccome non siamo un corpo estraneo alla Terra, ma siamo un elemento inserito come tanti altri nella Natura, siamo anche noi mangiati dal cibo. Diventando “consumatori” del cibo, in realtà ci lasciamo consumare da esso.” (Ermanno Olmi, *meeting della rete internazionale Terra Madre, Torino, 2008*). Terra Madre è una rete di contadini, produttori, cuochi ed esperti che, da ogni parte del mondo, si adopera per proporre un nuovo modello economico, agricolo, alimentare e culturale: il glocalismo, un insieme di azioni su scala locale con l'obiettivo di avere importanti ripercussioni a livello globale. Rappresenta dunque un esempio della presa di coscienza dell'umanità che l'attuale politica di produzione e consumo alimentare non è un'alternativa valida per il futuro e che, di conseguenza, risulta necessario innescare processi attivi di cambiamento con celerità. Bisogna impegnarsi per cambiare un mondo paradossale dove malnutrizione e obesità sono facce della stessa medaglia, in cui si produce cibo per 12 miliardi di persone mentre gli abitanti del pianeta sono 7 miliardi (FAO, United Nations General Assembly, 2008) e lo si distribuisce in maniera tutt'altro che equa, in cui le produzioni agro-zootecniche intensive industriali hanno causato la drastica riduzione della biodiversità delle specie vegetali e animali, senza contare la distruzione e l'inquinamento, talvolta irreversibile in tempi brevi, degli ecosistemi. Il progetto che vuole contrastare questi processi autodistruttivi promosso da Terra Madre è la sovranità alimentare, caratterizzata da produzioni che rispettino l'integrità ecologica dei luoghi in cui sono praticate, che abbiano cura della popolazione locale e del benessere dei nostri corpi [1]. Insegnare tali valori fin dal contesto scolastico risulta fondamentale per la promozione di una nuova società che cresca preservando l'ambiente, la biodiversità e l'uomo stesso.

Una valida e concreta alternativa alimentare che possa contrastare l'andamento tossico descritto è rappresentata dalla dieta mediterranea. Tale dieta è stata iscritta nel 2010 dall'UNESCO nella lista delle tradizioni considerate patrimonio immateriale dell'umanità poiché non solo risulta salutare per l'uomo ma anche sostenibile per l'ambiente, privilegiando alimenti di origine vegetale, la tutela del territorio e la stagionalità dei prodotti. È detta "mediterranea" in quanto caratteristica dei Paesi che si affacciano sul Mar Mediterraneo: Italia, Spagna, Grecia, Marocco (dal 2010), Portogallo, Croazia e Cipro (dal 2013). Ha probabilmente antiche origini che collocano il suo sviluppo con la nascita dell'agricoltura nel Neolitico (circa 10000 anni fa), quando le popolazioni mesopotamiche cominciarono a coltivare cereali e legumi. Il suo consolidamento si ebbe poi grazie ai Greci e ai Romani che basarono la loro dieta su olio d'oliva, frumento e vino. L'espressione dieta mediterranea fu coniata dal ricercatore statunitense Ancel Keys negli anni '60 del secolo scorso per indicare un tipo di dieta sana ed equilibrata, basata sul modello alimentare dei contadini meridionali italiani degli anni '50. La dieta mediterranea predilige piatti unici nutrizionalmente equilibrati, come pasta con legumi, minestrone, pizza, spezzatino con patate, abbinati a verdure e frutta fresche. È caratterizzata nel dettaglio da un elevato consumo di cereali, meglio se integrali, e i loro derivati (pane, pasta, riso, polenta...); un abbondante consumo di verdura e frutta fresca di stagione; un moderato consumo di legumi, spesso abbinati alla pasta; uso dell'olio d'oliva per condire e cucinare; moderato consumo di pesce, specialmente quello azzurro (sardine, alici, sgombri...); moderate quantità di latte, formaggio, yogurt e uova; piccole quantità di carni; uso di erbe aromatiche, spezie e frutta secca per insaporire le pietanze; consumo moderato di vino, in concomitanza ai pasti; piccole quantità di dolci. Sulla base di queste sane abitudini alimentari è stata elaborata la piramide della dieta mediterranea sostenibile, rivolta a tutti gli individui tra i 18 e 65 anni ed in linea con i cambiamenti della società e della vita quotidiana (Fig. 1.1). Rappresenta un vero e proprio stile di vita, sollecitando ognuno di noi ad un esame di coscienza

e spronandoci a cambiamenti salutari nel contesto delle nostre vite. Alla base troviamo infatti l'attività fisica, la convivialità e il consumo di prodotti locali su base stagionale, tre importanti abitudini che andrebbero coltivate ogni giorno. Il gradino successivo è occupato dall'acqua: almeno 1.5-2 L al giorno, anche sotto forma di infusi, preferendo acque depurate localmente a cui possiamo accedere nel contesto domestico o, per i più fortunati, nelle fontane di paese. Successivamente si trovano gli alimenti da assumere ad ogni pasto principale: verdura (più di due porzioni al pasto) e frutta (1-2 porzioni), con particolare attenzione alla varietà dei colori per assumere diversi fitonutrienti; olio d'oliva; pane, pasta, cous cous, riso ed altri cereali (1-2 porzioni). I seguenti due gradini vedono gli alimenti da mangiare ogni giorno: olive, frutta secca, semi (1-2 porzioni al giorno); erbe aromatiche, spezie, aglio, cipolla (con poco sale); legumi; latte e prodotti derivati preferibilmente a basso contenuto di grassi (2 porzioni). Troviamo poi gli ultimi tre gradini che uniscono gli alimenti da assumere settimanalmente: carne bianca (2 porzioni alla settimana); pesce e prodotti ittici (2 porzioni); uova (2-4 porzioni); carne rossa (1-2 porzioni); salumi (1 porzione); dolci (1-2 porzioni). La piramide raccomanda inoltre di bere vino e altre bevande fermentate alcoliche con grande moderazione, nel rispetto delle abitudini locali [2].

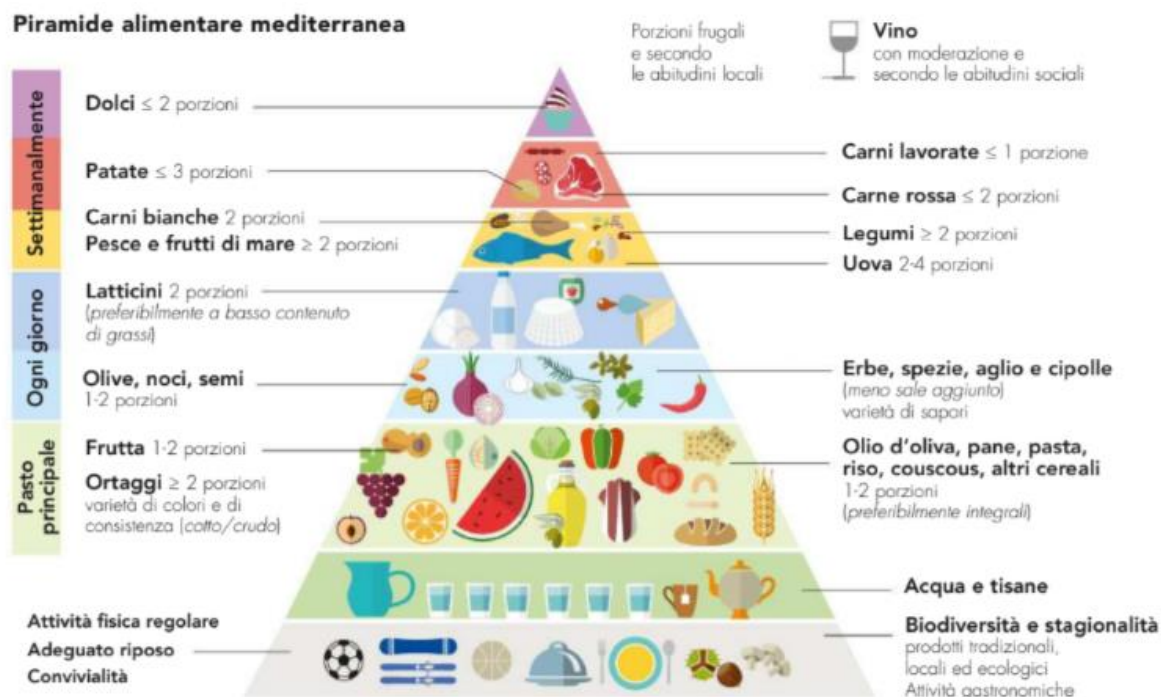


Fig. 1.1 Piramide alimentare della dieta tradizionale mediterranea [2].

L'assunzione della dieta appena descritta dovrebbe permettere di sopperire gravi carenze di alimenti previsti entro il 2050, il cosiddetto food gap, causati da principalmente da tre deleterie tendenze (i dati esposti sono stati riportati dalla Food and Agricultural Organization of United Nations -FAO-, FAOSTAT, Roma, 2015):

- sovrac consumo di calorie: si stima che il consumo di calorie quotidiana per capita superi l'effettivo fabbisogno energetico nel 60% dei Paesi (in particolare nelle zone urbane dei Paesi occidentali e dei Paesi emergenti);
- sovrac consumo di proteine animali e di prodotti di origine animale: la disponibilità di proteine animali per capita è cresciuta a tal punto da superare le reali necessità degli individui. Inoltre, esistono consistenti emissioni di gas serra prodotti dagli allevamenti intensivi di ruminanti. Le proteine vegetali rappresentano invece solo il 20-40% delle proteine prodotte e non sembrano incrementare nel futuro (Fig. 1.2);

- aumento del consumo di carne bovina, responsabile di un terzo della water footprint e di metà delle emissioni di gas serra derivate dagli allevamenti [3].

Le possibili strategie per contrastare questo consumo insostenibile sono la riduzione delle calorie assunte, il preferire proteine vegetali a quelle animali e l'assunzione della dieta mediterranea. Si stima che quest'ultima porterebbe a una diminuzione delle emissioni di gas serra dell'11-12% entro il 2050 (Fig. 1.3). Tali cambiamenti sono possibili ma richiedono un impegno importante a tutta la società, dall'individuo ai responsabili della produzione, attraverso campagne di sensibilizzazione, strategie di marketing e didattica consapevole [3].

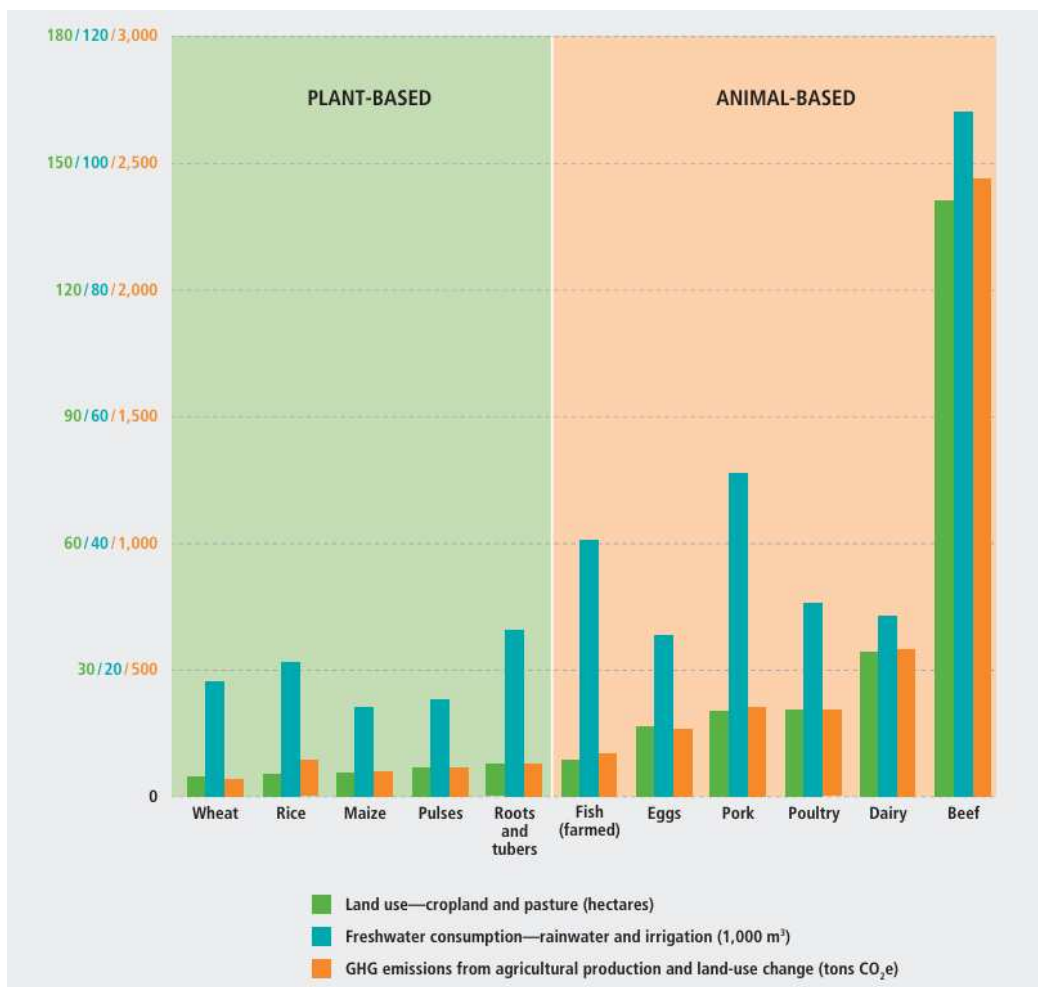


Fig. 1.2: Impatto globale della produzione di alimenti vegetali e animali per tonnellate di proteine consumate nel 2009 (GlobeAgri) [3].

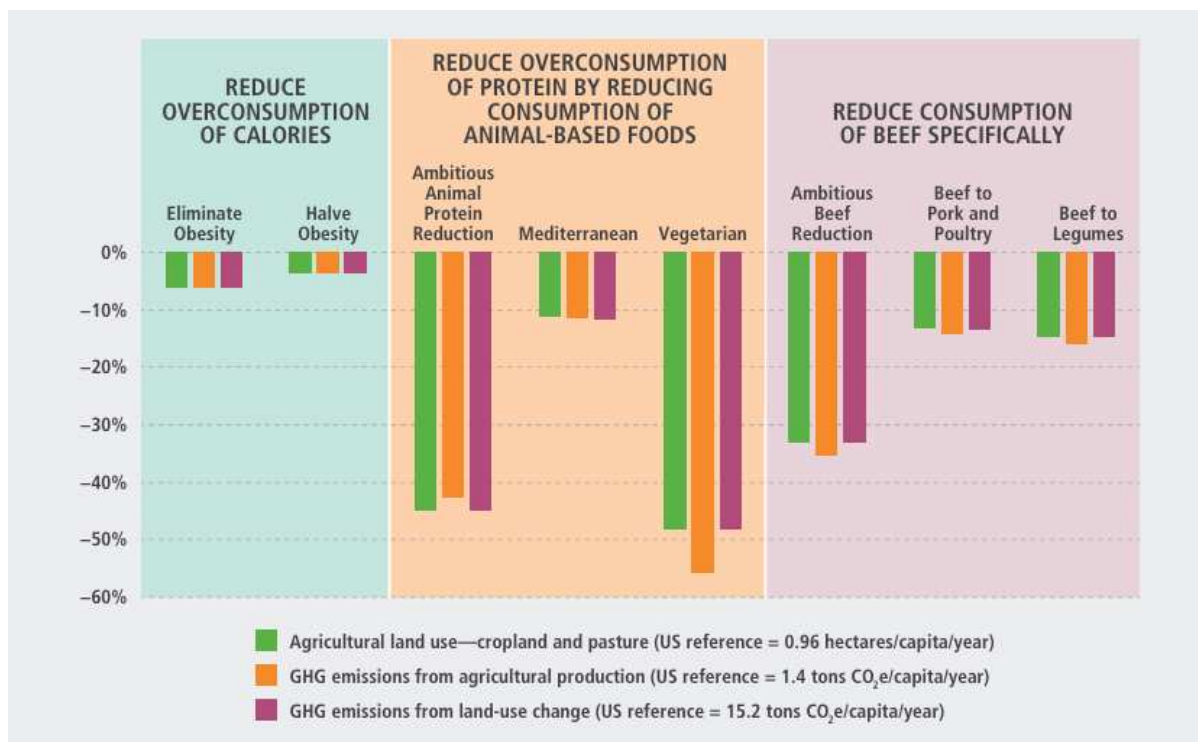


Fig. 1.3: Proiezione della riduzione delle emissioni di gas serra per capita entro il 2015, usando le emissioni del 2009 come linea di base, intraprendendo diversi cambiamenti alimentari (GlobeAgri model) [3].

La dieta tradizionale mediterranea è stata anche individuata come modello per il progetto NU-AGE, la cui razionale vede tale dieta come basilare per prevenire l’infiammazione cronica nelle persone anziane (65-79 anni). Il cambiamento delle abitudini alimentari, verificati anche attraverso esami omici (proteomica, metabolomica, genomica..), porta a numerosi benefici, limitando l’invecchiamento cellulare e il generale stato di infiammazione cronica [4]. L’assunzione di antiossidanti, in particolare di flavonoidi, favorita dalle abitudini alimentari mediterranee, promuove la longevità [5] e la riduzione dell’insorgenza di tumori. Inoltre, l’utilizzo di grassi insaturi ostacola lo sviluppo di malattie cardiovascolari e un limitato consumo di zuccheri semplici porta a una minore insorgenza di obesità e diabete.

1.2 Attività didattiche e laboratoriali incentrate sull'alimentazione sostenibile: stato dell'arte

Le attività didattiche legate alla scienza della alimentazione con particolare riferimento alla sostenibilità e al benessere che sono state proposte a studenti della scuola secondaria di primo e al biennio del secondo grado sono molteplici e variegata. Di seguito vengono riportati vari esempi con lo scopo di creare un solido punto di partenza per lo sviluppo dei protocolli previsti dal progetto di tesi.

È necessario innanzitutto distinguere le differenti modalità con cui il sapere viene trasmesso. Tale processo deve risultare attivo per lo studente e per questo vengono solitamente privilegiate lezioni partecipate e dialogare, la consegna di materiale anche multimediale da esaminare a casa e il conseguente confronto attivo in classe (flipped classroom), il diretto dialogo con esperti esterni, il lavoro in gruppi cooperativi (cooperative learning), uscite didattiche (outdoor learning) e attività laboratoriali (active learning). In questo modo la didattica assume un approccio puerocentrico, rendendo i discenti i veri protagonisti del processo di apprendimento che risulta estremamente più efficace. Le attività che verranno descritte vengono di solito promosse da docenti che insegnano discipline legate alle scienze ma possono anche coinvolgere differenti materie, anche umanistiche, creando interessanti unità didattiche interdisciplinari. La loro implementazione varia da poche ore a veri e propri progetti a lungo termine.

a. Educazione alimentare in videolezioni

Interessanti spunti sono forniti da RaiScuola [6] che promuove la realizzazione di brevi video con scopi didattici su diversi temi, tra cui l'alimentazione sostenibile e l'educazione alimentare. Un interessante esempio è rappresentato dai video della docente Silvia Migliaccio; essi sono

rivolti al primo biennio della scuola secondaria di secondo grado e rappresentano un ottimo punto di partenza per affrontare gli argomenti nelle proprie classi. Le lezioni partono motivando lo studio di scienze dell'alimentazione anche nel contesto di educazione civica come un impegno dell'individuo rispetto sé stesso e la società. Il futuro cittadino deve diventare responsabile della propria salute, di quella degli altri e di quella dello Stato. La perdita del benessere e quindi dell'armonia porta al deterioramento dell'organismo, allo sviluppo di malattie croniche e all'aumento dei costi socio-sanitari con il conseguente deterioramento dell'armonia e del benessere dello Stato. Come diceva lo stesso Platone, la società è come un organismo vivente che deve mantenersi in armonia attraverso il benessere dei singoli. Come possiamo definire il benessere? L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) lo definisce come *“lo stato emotivo, mentale, fisico, sociale e spirituale di ben-essere che consente alle persone di raggiungere e mantenere il loro potenziale personale e nella società”*. Per tale motivo come disse Ippocrate *“fa che il cibo sia la tua medicina e che la medicina sia il tuo cibo”*. Le videolezioni proseguono con la spiegazione della differenza tra macro e micronutrienti e la descrizione dei rispettivi elementi principali. Viene poi presentata la dieta mediterranea come salutare e sostenibile alternativa alla “Western diet”, basata su proteine animali, grassi saturi, fritti e zuccheri semplici. Segue la presentazione di alcune malattie legate all'alimentazione e allo stile di vita. Una dieta scorretta può ad esempio portare all'obesità quando nel bilancio energetico le entrate caloriche superano ampiamente le uscite (dovute per il 70% al metabolismo basale, il 7-15% al potere termogenico degli alimenti e il 20-30% alle attività fisiche). In Italia il 35% dei bambini è sovrappeso e il 12% obeso, con conseguenti casi di ipertensione, dislipidemia, insulino-resistenza e microalbuminuria infantile. Si stima che l'obesità riduca in media la vita di 7.4 anni, il ridotto consumo di verdure di 3.9 e la sedentarietà di 3.3. Lo studio della piramide alimentare della dieta mediterranea ci aiuta ad assumere corrette abitudini alimentari e di vita. In un'altra interessante lezione vengono presentati gli

alimenti che contengono i principali fitonutrienti e macro-micronutrienti divisi in base al loro colore e collegati a famosi dipinti che li richiamano e ritraggono. Vediamo dunque la raccolta delle olive verdi di Vincent Van Gogh, le arance di Paul Cezanne, il cocomero di Umberto Boccioni, l'uva di Caravaggio, i fagioli di Annibale Carracci e il latte di Jan Vermeer. Le lezioni terminano con le presentazioni delle nuove frontiere nel campo della scienza degli alimenti: la nutragenetica, che studia come la dieta possa influenzare il metabolismo dei composti introdotti in base alla genetica individuale, e la nutrigenomica, che si occupa dell'impatto che i diversi elementi introdotti esercitano sul nostro genoma [7]. Tratta anche del problema della globalizzazione, della convergenza economica, culturale e alimentare e della sostenibilità ambientale, sottolineando come capovolgendo la piramide alimentare e invertendo la collocazione nei suoi gradini degli alimenti si ottiene una piramide della sostenibilità, chiara e condivisibile da tutti noi (Fig. 1.4).



Fig. 1.4: Piramide alimentare e piramide della sostenibilità ambientale (Fondazione Barilla Center for Food and Nutrition).

b. L'apparato digerente e la digestione dei macronutrienti

Un diverso e utile approccio sono le attività laboratoriali che possono essere svolte sia dal docente che da esperti esterni. Di seguito vengono riportati alcuni esperimenti sulla chimica e biologia della digestione ideati dalla Fondazione Golinelli [8]. Tale attività necessita circa due ore di lavoro e semplici materiali e reagenti, coerentemente con le età degli studenti coinvolti. Si comincia sempre con richiami e cenni teorici, stimolando un'attiva partecipazione degli alunni. Seguono semplici ma significativi esperimenti che hanno lo scopo di mostrare le trasformazioni del cibo ingerito nelle varie parti dell'apparato digerente:

- l'iniziale scomposizione chimica dei carboidrati che avviene in bocca ad opera dell'enzima ptialina o α -amilasi, contenuto nella saliva. Inizialmente si cerca di comprendere cosa sia l'amido e dove si trovi. Al microscopio è possibile osservare le differenti tipologie di grani di amido prodotti da specifiche specie vegetali. Vengono poi fatti reagire vari alimenti in soluzione (fecola di patate, banane mature o acerbe, farina di ceci e panna) con la tintura di iodio. Tale test, conosciuto come test di Lugol, permette di saggiare la presenza di amido poiché lo iodio reagisce con l'amilopectina mutando così il colore della tintura di iodio da giallo-marrone a viola. Successivamente si testa l'azione dell'enzima, che viene aggiunto nelle soluzioni di amido: la tintura di iodio non reagisce più poiché l'amido è stato scomposto in zuccheri semplici;
- si passa poi allo stomaco in cui i succhi gastrici, a base di acido cloridrico ed enzimi come la pepsina, digeriscono ulteriormente il bolo trasformandolo in chimo. Per simulare quello che succede nello stomaco si fa reagire il bicarbonato di calcio con l'aceto, il cui pH viene controllato dagli studenti con la cartina indicatrice. Lo sviluppo della CO_2 dalla reazione e la parziale degradazione del bicarbonato indicano cosa accade al cibo durante la digestione;

- il chimo giunge all'intestino tenue nel quale viene trasformato in chilo: i glucidi vengono ulteriormente scomposti per essere assimilati. Si sperimenta così l'azione dell'enzima lattasi, capace di scindere il lattosio in glucosio e galattosio. Si analizzano diversi alimenti (latte vaccino, latte privo di lattosio, latte trattato con lattasi e bevande vegetali) saggiando la presenza di lattosio mediante le specifiche strisce indicatrici. La reazione avverrà solamente nelle miscele contenenti glucosio, ovvero dove il lattosio è stato scisso nei suoi monosaccaridi o dove non è naturalmente presente. Tale saggio può essere anche quantitativo mediante l'osservazione dell'intensità della colorazione dell'indicatore di glucosio. Inoltre, trattando il latte con differenti quantità di lattasi, è possibile simulare diversi livelli di intolleranza al lattosio e ipotizzare diete ad essi correlate;
- sempre nell'intestino tenue avviene la digestione dei lipidi attraverso la bile, capace di scindere i trigliceridi in acidi grassi e di emulsionarli. La presenza di questi ultimi, essendo acidi, viene testata mediante un indicatore di pH (ad esempio il cavolo rosso), dopo essere stati scissi da una base, ad esempio bicarbonato, in presenza di lecitina di soia.

Altri interessanti esperimenti sono le dirette osservazioni al microscopio di vetrini istologici per studiare i vari tessuti che compongono l'apparato digerente: le papille gustative della lingua, l'epitelio e le tonache muscolari dell'esofago, la mucosa gastrica e le tonache muscolari dello stomaco, i villi della mucosa intestinale e le ghiandole delle mucose, le tonache muscolari dell'intestino crasso. Un ulteriore utile saggio da proporre è il rilevamento della presenza di proteine in differenti cibi (pane, fagioli, panna, albume...) che non siano necessariamente carnosì o di origine animale. Viene utilizzato il solfato rameico che, successivamente alla denaturazione delle proteine operata dall'idrossido di sodio, riesce a legarsi ad esse mutando il proprio colore da azzurro a viola.

c. Dieta sana: partiamo dalle etichette alimentari

Un'altra tipologia di attività è lo studio interattivo degli alimenti attraverso l'analisi dei valori nutrizionali con la formulazione di menù bilanciati e adatti a diversi fabbisogni energetici. Un modo interessante per proporre questo lavoro è stato svolto presso la Fondazione Golinelli: gli studenti, divisi in gruppi, sono stati dotati delle tabelle dei valori nutrizionali di determinati alimenti senza però rivelare quali fossero. Il gioco didattico consisteva quindi nel formulare ipotesi su quali fossero in base al contenuto di grassi saturi e insaturi, zuccheri semplici e complessi e proteine, cercando poi di creare con essi una colazione sana e bilanciata.

d. Water e carbon footprint per un'alimentazione sostenibile

Di grande rilevanza sono anche le attività che permettono di sensibilizzare i partecipanti rispetto a tematiche di sostenibilità ambientale legate all'alimentazione [9]. Un laboratorio implementato presso la Fondazione Golinelli permetteva di calcolare la carbon footprint (in g o kg), ossia le emissioni di CO₂, e la water footprint (in L), la quantità di acqua utilizzata per la produzione degli alimenti, di determinati pasti. Gli studenti potevano scegliere tra diversi cibi e bevande (hamburger, pizza, insalata, bevande gassate, acqua...) e successivamente calcolare le totali emissioni di anidride carbonica e l'acqua necessaria per produrli (Fig. 1.5). Lo scopo è la riflessione sull'impatto che abbiamo sul pianeta scegliendo cibi non stagionali, con packaging non ecologici, che presuppongono lo sfruttamento eccessivo di risorse naturali per cercare di optare e formulare menù il più possibile sostenibili. Interessante risulta l'approfondimento teorico sul concetto di impronta ecologica. L'idea, nata negli anni Novanta, si deve all'ecologo William Rees dell'Università della British Columbia (Canada) e soprattutto al suo collaboratore Mathis Wackernagel. Fino ad allora, per capire qual era lo stato di salute del pianeta, ci si era sempre chiesti "quante persone possono vivere sulla Terra?". Wackernagel

ebbe un'intuizione diversa e capovolve la domanda chiedendosi: “quanta Terra serve a ognuno di noi per vivere?”. È un modo diverso di vedere le cose: invece di dare la priorità agli esseri umani, al loro numero, si cerca di guardare la situazione dal punto di vista delle risorse disponibili, dal punto di vista della Natura, per capire quanto può essere danneggiata dalle nostre azioni e comportamenti.

Menù				
PORTATA	SCELTA	Impronta idrica H2O in l.	Impronta carbonio CO2 in Kg.	Impronta carbonio CO2 in g.
Bevande	Acqua in caraffa (0,5 L)	0,5	0	0
	Acqua gasata (0,5 L)	3,2	0,06	60
	Latte (0,2 L)	206,6	0,05	50
	Coca Cola (lattina 0,33 L)	200	0,17	170
	Succo di frutta (0,2 L)	176,3	0,1	100
Primo	Pizza margherita	456	0,52	520
	Risotto ai frutti di mare e zucchine (pesce surgelato)	531	0,41	410
	Pasta alla carbonara	732,4	0,55	550
	Zuppa di legumi misti	405,6	0,08	80
	Polenta con stracchino	253	0,08	80
Secondo	Carne alla griglia con patate fritte	2.325,6	0,96	960
	Pollo ai ferri con patate arrosto	404,6	0,31	310
	Sogliola in graticola con patate lesse (pesce fresco)	14,4	0,3	300
	Orata al forno con patate al forno (pesce surgelato)	14,4	0,65	650
	Insalata mista	25,9	0,24	240
Dolce	Torta con gocce di cioccolato	465,7	0,91	910
	Yogurt ai frutti di bosco	174,2	0,77	770
	Biscotti secchi	274,8	0,24	240
	Macedonia di pesche e albicocche	180,3	0,08	80
	Arancia in frutto	42,2	0,06	60
Totale				

Fig. 1.5: I valori di impronta ambientale sono calcolati utilizzando i dati riportati dal seguente sito:

<http://www.improntawwf.it/carrello/#>. Ad eccezione per Coca-Cola in lattina: dati Carbon Trust.

e. Agenda 2030 e alimentazione sostenibile

Un ulteriore approfondimento che viene affrontato in numerosi contesti didattici, ad esempio presso l'I.S.I.S.S. Magnaghi-Solari di Salsomaggiore Terme, è il tema degli obiettivi prefissati

dall'ONU da raggiungere auspicabilmente entro il 2030: l'Agenda 2030. Sottoscritta il 25 settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri delle Nazioni Unite e approvata dall'Assemblea Generale dell'ONU, l'Agenda è costituita da 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – Sustainable Development Goals, SDGs – inquadrati all'interno di un programma d'azione più vasto costituito da 169 target o traguardi, ad essi associati, da raggiungere in ambito ambientale, economico, sociale e istituzionale entro il 2030. Questo programma non risolve tutti i problemi ma rappresenta una buona base comune da cui partire per costruire un mondo diverso e dare a tutti la possibilità di vivere in un mondo sostenibile dal punto di vista ambientale, sociale, economico. Gli obiettivi fissati per lo sviluppo sostenibile hanno una validità globale, riguardano e coinvolgono tutti i Paesi e le componenti della società, dalle imprese private al settore pubblico, dalla società civile agli operatori dell'informazione e cultura. I 17 Goals fanno riferimento ad un insieme di questioni importanti per lo sviluppo che prendono in considerazione in maniera equilibrata le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile – economica, sociale ed ecologica – e mirano a porre fine alla povertà, a lottare contro l'ineguaglianza, ad affrontare i cambiamenti climatici, a costruire società pacifiche che rispettino i diritti umani. Di particolare rilevanza per i nostri scopi sono l'obiettivo 3 -Salute e benessere-, il 12 -Consumo e produzione responsabile- e il 13 -Lotta contro il cambiamento climatico- (Fig. 1.6).

OBIETTIVI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE



Fig. 1.6: I 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile (<https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>).

f. Diete sane ed equilibrate su misura

Il benessere del nostro organismo dipende in buona misura dall'alimentazione: utili attività volte a comprendere questo concetto sono proposte agli studenti prendendo spunto da specifici libri di testo [2]. Gli alunni divisi in gruppi cooperativi devono lavorare a sfidanti compiti di realtà: vengono presentati loro diversi casi (case study) di persone con esigenze nutrizionali, stili di vita e patologie disparate con lo scopo di formulare ipotesi sulle cause del loro stato e proporre soluzioni attraverso l'alimentazione. Tra questi citiamo il caso di una studentessa universitaria che ha seguito diete low carb ad alto contenuto proteico fai da te con lo scopo di dimagrire, trovandosi poi più magra ma con problemi intestinali e sbalzi di umore; una signora anziana che soffre di ulcere e perdite di sangue e necessita una dieta ricca di proteine e sostanze che aiutino la cicatrizzazione; un uomo di mezza età sovrappeso che ha riscontrato dopo gli appositi esami i valori dei trigliceridi e del colesterolo troppo alti nel sangue; un'infermiera

pediatrica che lavora presso “Medici con l’Africa Cuamm” e deve prendersi cura di piccoli pazienti malnutriti con gravi carenze vitaminiche. Dal punto di vista teorico è doveroso richiamare temi come il dispendio energetico, il fabbisogno energetico, il bilancio energetico, il peso corporeo e l’indice di massa corporea (BMI), oltre alle funzioni dei macro e micronutrienti. Inoltre, è bene inserire anche richiami sulle malattie che dipendono largamente dall’alimentazione come l’obesità, il diabete mellito, le malattie cardiovascolari e alcuni tipi di tumori. Una fonte importante per creare diete personalizzate e bilanciate è l’elenco di più di 700 alimenti con relativa composizione in termini di macro e micronutrienti elaborata dal Centro per gli Alimenti e la Nutrizione del Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria (CREA) [10].

g. Aziende agro-zootecniche sostenibili e gestione responsabile delle risorse idriche

Di grande rilevanza risulta anche far conoscere direttamente ai giovani realtà locali di produzioni agrozootecniche sostenibili. Ad esempio, gli studenti dell’I.S.I.S.S. Magnaghi Solari di Salsomaggiore Terme sono stati protagonisti di diversi incontri con produttori locali che conducono aziende sostenibili: prodotti a km 0, attenzione al benessere animale e alla biodiversità sono i punti cardine da rispettare. In particolare hanno partecipato produttori di Parmigiano Reggiano DOP, di miele biologico, di luffa (una cucurbitacea il cui corpo fibroso può essere utile come spugna), di zafferano, legumi (anche fermentati in forma di tempeh), di pane e derivati dei cereali. Gli stessi studenti hanno attivamente partecipato al progetto su Acqua e Sostenibilità nell’ambito della Scuola dell’Acqua – il progetto didattico permanente promosso gratuitamente da EmiliAmbiente per le scuole del territorio. Gli alunni, nell’ambito delle proprie attività di Educazione Civica sullo Sviluppo Sostenibile, sono stati coinvolti in un intervento tecnico sul tema idrico costruito “su misura” delle proprie esigenze. Il percorso

si è quindi concretizzato in tre differenti laboratori didattici, che hanno coinvolto a vario titolo 22 classi degli indirizzi Agrario, Alberghiero e Tecnico Turistico: “Acqua come patrimonio dell’umanità”, “Diete sostenibili: amici e nemici dell’acqua” e “Mondo sottosopra: acqua, terre rare, petrolio e altre risorse del pianeta”. Al centro dei workshop, pensati per coinvolgere gli studenti con attività pratico-sperimentali, giochi di ruolo, momenti di brainstorming e discussioni organizzate, c'era il concetto di impronta idrica. Essa è stata analizzata in riferimento alla produzione e al consumo (diretto o indiretto) negli ambiti più rilevanti della vita quotidiana: dall’agricoltura all’alimentazione, dai viaggi all’abbigliamento [11]

h. L’orto didattico

Per sensibilizzare gli studenti al tema sostenibilità alimentare risulta molto utile anche creare orti didattici. Responsabilizzarci facendoci carico della cura di ciò che mangiamo fin dal seme non può che renderci più consapevoli del valore del cibo, della terra e della vita. Un bell'esempio di coltivazione a carico degli studenti è la serra curata dall'Istituto Agrario Solari di Fidenza. Gli allievi svolgono attività didattiche con un ciclo annuale, da settembre a maggio dell’anno seguente, un periodo che copre l’intero anno scolastico. Queste attività consistono principalmente in lavori di semina, trapianto, propagazione da talee. Sono prodotte piante orticole ed ornamentali. Le attività della serra didattica hanno un andamento ciclico annuale. Da settembre si effettua il rinvaso e trapianto di piante di primula, viola, fragola e piante aromatiche. Da ottobre a dicembre si riproducono piante aromatiche e ornamentali per talea e margotta. In dicembre sono vendute stelle di Natale e specie ornamentali resistenti al freddo. Da gennaio si effettuano le semine di specie autoctone. In gennaio inizia la semina di specie orticole, attività che permette di ottenere le piantine per la vendita in primavera. Da febbraio si effettuano i rinvasi di piante da fiore annuali, da giardino e balcone: surfina, begonia, petunia,

portulaca, verbena, coleus e tagete. Da febbraio a marzo si seminano diverse varietà delle seguenti specie orticole: pomodoro, peperone, melanzana, peperoncino, basilico, sedano, prezzemolo, zucchini, zucca, melone, cetriolo e cocomero. A marzo si rinvasano le piante autoctone: ginestra, acero campestre, corniolo, palla di neve, ligustro e rosa canina.

1.3 Macronutrienti e micronutrienti

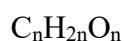
Le seguenti sezioni hanno lo scopo di illustrare il background teorico, nel contesto della vasta disciplina di Scienza degli alimenti, che dovrebbe essere assimilato e costruito da ogni studente e studentessa della scuola secondaria di primo e secondo grado, attraverso attività didattiche attive e partecipative.

Macronutrienti

I macronutrienti, come suggerisce la parola stessa, sono le sostanze di cui l'organismo ha bisogno in quantità elevate, nell'ordine delle decine di grammi, ogni giorno, per svolgere le funzioni metaboliche necessarie al mantenimento dello stesso e allo svolgimento delle attività legate alla vita. Si suddividono in glucidi, protidi e lipidi [2, 12, 13].

Glucidi

I glucidi o zuccheri sono composti organici ternari in quanto formati da tre elementi chimici: carbonio, ossigeno e idrogeno. Vengono anche chiamati idrati di carbonio poiché nella loro formula generale l'idrogeno e l'ossigeno sono presenti nelle stesse proporzioni che nell'acqua.



Una molecola di glucide contiene sempre diversi gruppi funzionali ossidrilici -OH e un gruppo aldeidico -CHO o un gruppo chetonico -CO-, distinguendosi così in glucidi aldosi o chetosi. In base al grado di complessità delle molecole vengono classificati in monosaccaridi (composti

da un'unità di base), disaccaridi (con due unità) e polisaccaridi (composti da innumerevoli unità). I monosaccaridi si presentano come solidi cristallini, di colore bianco, dolci e solubili in acqua. Sono semplici molecole che possono presentare da tre a sette atomi di carbonio e sono in base a questo classificati come zuccheri triosi, pentosi, esosi e eptosi. In soluzione i monosaccaridi pentosi e esosi formano strutture cicliche la cui chiusura genera due nuovi tipi di isomeri: alfa che presenta il gruppo ossidrile del carbonio 1 disposto sotto il piano dell'anello e beta con il medesimo gruppo situato sotto il piano della molecola. Dal punto di vista nutrizionale i più importanti sono il glucosio, uno zucchero aldoso, il fruttosio (chetoso) e il galattosio (aldoso) [2, 12]. Il glucosio è lo zucchero più importante: tutti gli zuccheri introdotti nel corpo vengono trasformati in tale monosaccaride che costituisce la forma di combustibile di più rapido utilizzo per l'organismo. Allo stato libero si trova nel miele, nella frutta e in altri alimenti di origine vegetale. Il fruttosio è detto zucchero della frutta e quando combinato al glucosio forma il saccarosio, il dolcificante più utilizzato nell'industria alimentare, estratto dalla barbabietola da zucchero in Europa e dalla canna da zucchero nei paesi tropicali. Infine, il galattosio, che si trova sempre combinato al glucosio in natura, genera il disaccaride presente in particolare nel latte, il lattosio (Fig. 1.7) [2].

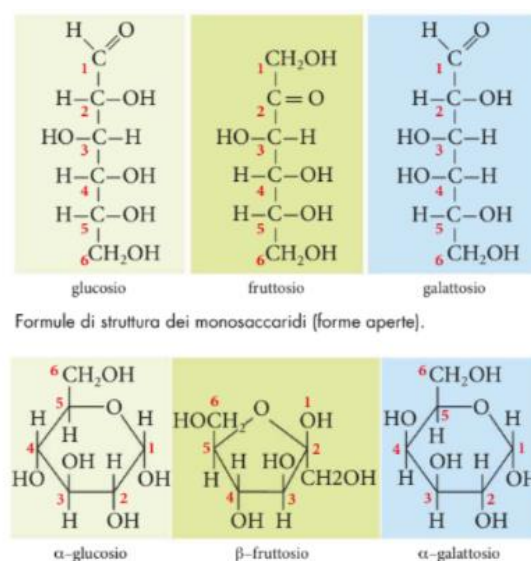


Fig. 1.7: Formula strutturale dei principali monosaccaridi n forma lineare e ciclica [2].

I disaccaridi hanno come formula grezza $C_{12}H_{22}O_{11}$. Si ottengono mediante la condensazione di due molecole di monosaccaridi con l'eliminazione di una molecola di acqua. Il legame tra due monosaccaridi è detto glicosidico e può essere scisso attraverso l'idrolisi. Tale legame è detto alfa-glicosidico se i due ossidrili interessati al legame si trovano sotto il piano della molecola oppure beta-glicosidico se gli ossidrili si trovano uno sopra e l'altro sotto al piano delle molecole. I disaccaridi più rilevanti dal punto di vista nutrizionale sono il saccarosio, il lattosio e il maltosio, zucchero formato da due molecole di glucosio presente nel malto, ossia le cariossidi di un cereale dopo il processo della germinazione che trasforma l'amido in zuccheri semplici. I polisaccaridi di maggior interesse alimentare sono l'amido, il glicogeno e la cellulosa, tre polimeri del glucosio. L'amido è lo zucchero di riserva delle cellule vegetali, accumulato soprattutto in semi, tuberi, radici e alcuni frutti, i cui grani presentano forme diverse secondo le specie che lo producono. È costituito da una miscela di due polisaccaridi strutturalmente diversi:

- Amilosio, (20%) catena lineare composta da 5-600 unità di glucosio, unite da legami glicosidici α 1-4, solubile in acqua, posto nella parte centrale dei granuli di amido;
- Amilopectina, (80%) che presenta una struttura ramificata formata sino da 5000 molecole di glucosio, unite da legami glicosidici α 1-4. Ogni 20-30 molecole di glucosio è presente una ramificazione laterale o catena laterale di molecole di glucosio, unite alla catena principale da legami glicosidici α 1-6. È insolubile in acqua a causa di questa struttura complessa.

In bocca l'amido è parzialmente idrolizzato a maltosio e destrine (frammenti di amilopectina con legami glicosidici α 1-6 intatti) da enzimi amilasi che tagliano il legame glicosidico α 1-4, ma non spezzano il legame glicosidico α 1-6. È nell'intestino che gli enzimi α 1-6 glicosidasi e disaccaridasi terminano la scissione dell'amido in glucosio [2, 12].

Il glicogeno, formato da migliaia di molecole di glucosio ramificate, rappresenta una fonte di riserva energetica per gli animali. Nell'uomo si accumula nel fegato e nei muscoli e viene scisso in molecole di glucosio al bisogno. La cellulosa è il polisaccaride di origine vegetale più diffuso in natura e ha una funzione strutturale e di sostegno, essendo il componente principale della parete cellulare vegetale. Essa è costituita da lunghe catene di glucosio legate da legami β -glucosidici che risultano inscindibili dagli esseri umani in quanto sprovvisti dell'enzima cellulasi. La cellulosa, insieme alla lignina, pectina ed emicellulosa, rappresenta la fibra alimentare che svolge importanti funzioni per l'organismo: conferisce il senso di sazietà e previene la stitichezza, oltre a ridurre il rischio di malattie cardiovascolari e tumori (Fig. 1.8) [2, 13].

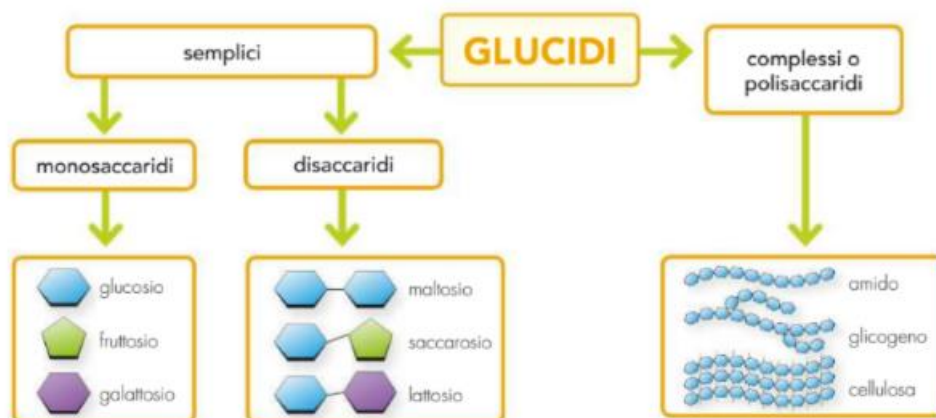


Fig. 1.8: Schema dei principali mono-, di- e polisaccaridi [2].

I glucidi sono i macronutrienti di base nell'alimentazione umana, essendo i principali componenti dei cereali e dei prodotti di origine vegetale. I glucidi fondamentali funzioni per l'organismo:

- energetica: forniscono 4 kcal per grammo;
- deposito: sotto forma di glicogeno;

- plastica: il ribosio e il desossiribosio sono i principali costituenti del RNA e DNA, il galattosio forma parte della guaina mielinica del sistema nervoso;
- protettiva: salvaguardano il fegato dalla formazione di corpi chetonici che si verrebbero a creare dallo smaltimento dei grassi in carenza di glucidi [2, 13].

Il valore di riferimento per i glucidi, ossia la quantità che dovrebbe essere assunta quotidianamente è il 45-60% dell'apporto totale dell'energia giornaliera. Gli zuccheri semplici invece non dovrebbero superare il 15% e la fibra è raccomandata nella quantità di 25g/die. A digiuno i valori della concentrazione di glucosio nel sangue, ossia la glicemia, si attestano tra 60 e 100 mg/100mL. La capacità di un alimento di innalzare la glicemia rispetto ad alimenti standard come il glucosio è detta indice glicemico (IG), espresso con valori da 0 a 100. Più è alto tale valore più velocemente l'alimento in questione viene assorbito, innalzando la glicemia. Conoscere tale valore è fondamentale per il benessere derivante da una corretta alimentazione e per prevenire malattie croniche come il diabete (Fig. 1.9) [2].

INDICE GLICEMICO		
Basso ≤ 55	Medio 55-69	Alto ≥ 70
		
Fagioli	Pasta	Pane bianco
Lenticchie	Riso parboiled	Cornflakes
Pomodori	Fiocchi di avena	Zucchero
Ciliegie	Gelato	Patate
Mela	Arance	Polenta

Fig. 1.9: Tabella riportante diversi alimenti e i rispettivi indici glicemici [2].

Protidi

I protidi o proteine sono elementi necessari per le attività cellulari poiché permettono, sotto forma di enzimi, lo svolgimento delle reazioni biochimiche. Hanno un importante ruolo strutturale in tessuti connettivi come il collagene, presente in ogni organo del corpo, nei tendini, nella cartilagine, nel sangue e nella pelle, e sono alla base della formazione della cheratina, proteina che genera capelli e unghie. Troviamo le proteine di trasporto, come le lipoproteine e l'emoglobina, atte a trasportare attivamente lipidi e ossigeno nel sangue. Sono alla base dell'attività contrattile dei muscoli che viene compiuta dalla contrazione della miosina e actina. Le proteine danno anche origine agli ormoni che regolano diversi processi metabolici come l'insulina e il glucagone che regolano il metabolismo glucidico. Svolgono, infine, un ruolo fondamentale nella difesa immunitaria poiché costituiscono gli anticorpi o immunoglobuline presenti nel sangue. Nel corpo umano rappresentano il 18% del peso corporeo, costituendo quindi, dopo l'acqua, il componente più abbondante. Sono composti quaternari, formati da carbonio, ossigeno, idrogeno e azoto, ma possono contenere anche zolfo e fosforo. Le proteine sono macromolecole formate dall'unione di innumerevoli unità elementari dette amminoacidi, unite da legami polipeptidici. Gli amminoacidi sono formati da un gruppo amminico $-NH_2$, basico, e uno carbossilico $-COOH$, acido, e contengono un gruppo variabile R, specifico di ogni amminoacido. In natura esistono innumerevoli amminoacidi ma solo venti di questi costituiscono le proteine. Essi vengono combinati in innumerevoli modi secondo le indicazioni scritte nel DNA per formare queste fondamentali macromolecole per la vita. Il nostro organismo è capace di sintetizzare solo alcuni amminoacidi detti non essenziali (arginina, alanina, asparagina, acido aspartico e glutammico, cisteina, glicina, serina e tirosina) mentre gli altri devono essere introdotti con la dieta. Questi ultimi sono definiti essenziali e per gli esseri umani sono otto: isoleucina e leucina, presenti nell'uovo, valina, che si trova in carni pesci e legumi, fenilalanina, in carne e derivati del latte, lisina, nei legumi, treonina, presente

nei legumi e semi oleosi, metionina, nei cereali e semi e triptofano, nei semi oleosi. Per i bambini sono essenziali anche l'arginina, reperibile in carne, latticini e legumi e l'istidina, presente in carne, pesce, legumi e cereali. Di grande rilevanza nella nutrizione non è, dunque, solo la quantità delle proteine assunte ma anche la qualità, ovvero la possibilità di fornire al corpo gli amminoacidi essenziali di cui necessita. In particolare, quattro amminoacidi, lisina, triptofano, treonina e metionina, sono definiti limitanti poiché presenti in quantità minori negli alimenti rispetto alle necessità dell'organismo [2, 12, 13].

Come già accennato, gli amminoacidi si legano tra loro mediante una reazione di condensazione tra il gruppo carbossilico e quello amminico di due molecole consecutive (Fig. 1.10). Per ogni legame si libera una molecola di acqua. Una vera e propria proteina è formata da almeno 50 unità di base. La reazione inversa è detta proteolisi e comporta la liberazione degli amminoacidi, come durante la digestione, poi riutilizzati per formare nuove proteine. La composizione amminoacidica così come la forma che assumono è fondamentale per determinare l'attività biologica delle proteine. Si può distinguere diversi livelli di organizzazione proteica:

- struttura primaria: definita dal numero, dal tipo e dalla sequenza degli amminoacidi che formano la catena polipeptidica;
- struttura secondaria: è determinata dalla disposizione di tratti della proteina in strutture tridimensionali ripetute e regolari. La più comune è l'alfa-elica, un avvolgimento della catena a spirale in senso orario, presente nella mioglobina e nella cheratina. La seconda struttura comporta il ripiegamento in lamine ed è detta beta-foglietto, assunta ad esempio dalla fibroina, la proteina della seta;
- struttura terziaria: è la conformazione tridimensionale complessiva della proteina, un avvolgimento delle varie strutture secondarie che permette l'interazione tra i vari amminoacidi che si ritrovano vicini. Può essere globulare, sferoide e compatta, tra cui

enzimi e importanti ormoni come l'insulina, o fibrosa, allungata, come la cheratina, il collagene e l'elastina;

- struttura quaternaria: comporta l'unione di più catene polipeptidiche, unite mediante legami deboli di interazione molecolare, dette anche subunità. Un esempio è l'emoglobina, formata da quattro subunità con al centro un gruppo prostetico contenente il ferro che lega e trasporta l'ossigeno nel sangue [2, 12].

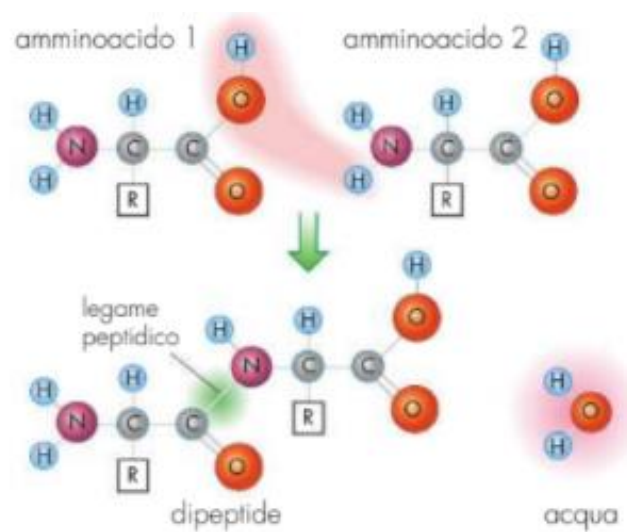


Fig. 1.10: Reazione di condensazione e idrolisi del legame peptidico [2].

La classificazione delle proteine può essere operata anche in base al valore biologico, ossia al contenuto di amminoacidi essenziali. Abbiamo proteine ad alto valore biologico o complete, contenenti tutti e otto gli amminoacidi essenziali (proteine dell'uovo, carne, pesce, latte, l'alga spirulina), proteine a medio valore biologico o parzialmente complete, ad esempio i legumi che scarseggiano di metionina e cisteina, e proteine a basso valore biologico o incomplete, come i cereali che non contengono lisina. Le proteine possono essere combinate, sfruttando la loro complementarità: combinando legumi e cereali o frutta secca e legumi si creano sani piatti mediterranei che apportano gli amminoacidi essenziali (Fig. 1.11) [2].

COMBINAZIONE DI ALIMENTI		
Alimenti	Alimenti complementari	Esempi
Legumi AA limitanti: metionina, cisteina Ricchi di lisina	+ Cereali Frutta secca a guscio, semi	= Fagioli e riso Ceci e cous cous Minestrone
Cereali AA limitante: lisina Ricchi di metionina, cisteina	+ Legumi	= Zuppa d'orzo e lenticchie Pane e panelle Pane e hummus
Frutta secca a guscio, semi AA limitanti: lisina e isoleucina Ricchi di metionina, cisteina	+ Legumi	= Insalata di fagioli con semi di girasole Ceci con semi di sesamo Fagioli di Spagna con anacardi

Fig. 1.11: Varie combinazioni di piatti completi dal punto di vista amminoacidico [2].

Un importante tema, anche nel contesto della cucina, è la denaturazione proteica, ossia la modificazione delle proteine ad opera di agenti chimici (acidi, basi, alcol, alte concentrazioni saline ed enzimi) e agenti fisici (temperature elevate ed azioni meccaniche). Le strutture secondarie, terziarie e quaternarie vengono modificate senza però alterare la sequenza degli amminoacidi. Questo processo irreversibile comporta la perdita della funzione biologica della proteina ma una maggiore digeribilità [2].

Gli enzimi sono particolari proteine con funzione catalizzatrice, ossia capaci di aumentare la velocità delle reazioni biologiche. Essi possiedono un'elevata specificità in relazione alla molecola trasformata, il substrato, e le sostanze ottenute, i prodotti, catalizzando un solo tipo di reazione (ad esempio la lattasi agisce esclusivamente sul lattosio). La loro attività è fortemente influenzata dalla temperatura e dal pH, che devono essere ottimali per favorire la loro azione [2, 12, 13].

Le proteine svolgono un'importante funzione energetica fornendo 4 kcal per grammo. Non possono essere immagazzinate perciò se introdotte in eccesso vengono usate per produrre

energia o trasformate in grasso. L'assunzione di riferimento giornaliera delle proteine corrisponde al 12-20% dell'energia totale della dieta. È raccomandato sostituire le proteine animali con quelle vegetali sia per prevenire malattie cardiovascolari sia per una maggiore sostenibilità ambientale, con la conseguente riduzione delle emissioni di gas serra. Assumere ad esempio i legumi tre volte alla settimana, alternandoli con carne e pesce è una buona abitudine alimentare. Una carenza di proteine porta a un deperimento dell'organismo più o meno grave e risulta particolarmente dannosa nell'età dello sviluppo. D'altra parte, un eccesso può portare all'obesità [2, 13].

Lipidi

I lipidi o grassi sono una classe di molecole organiche relativamente piccole ed eterogenee, untuose al tatto, insolubile in acqua ma solubili in solventi organici e possiedono un peso specifico inferiore ad 1, rendendo possibile il loro galleggiamento sull'acqua. I lipidi si classificano in semplici quando composti da carbonio, ossigeno e idrogeno e in complessi se costituiti anche da fosforo (fosfolipidi), zuccheri (glicolipidi) e amminoacidi (lipoproteine). Gli acidi grassi sono i componenti fondamentali dei lipidi. Sono composti da lunghe catene di carbonio che terminano con un gruppo metilico $-CH_3$ e uno carbossilico $-COOH$. Vengono suddivisi in:

- acidi grassi saturi, se non sono presenti doppi legami nella catena carboniosa (e.g. acido palmitico e stearico). Formano grassi solidi principalmente di origine animale come il burro;
- acidi grassi insaturi, quando sono presenti doppi legami tra gli atomi di carbonio. Sono detti monoinsaturi se presente un solo doppio legame (acido oleico) o polinsaturi se possiedono due o più doppi legami (acido linoleico, linolenico e arachidonico). In base

alla configurazione del doppio legame gli acidi grassi insaturi si suddividono in forma *cis*, quando gli atomi di idrogeno coinvolti nel doppio legame sono rivolti dallo stesso lato, o in forma *trans*, se i suddetti idrogeni sono sui lati opposti della molecola. La maggior parte dei grassi introdotti per via alimentare si trova in forma *cis*. Appartengono a questo gruppo oli liquidi, spesso di origine vegetale ma anche animale [2, 12, 13].

Alla categoria degli acidi grassi polinsaturi appartengono, come già accennato, la serie dell'acido linoleico, anche conosciuta come acidi grassi omega-3, ricavati dai pesci azzurri, dall'olio di lino, dalle noci e dall'alga nori e la serie dell'acido linolenico o omega-6, che si trovano negli oli di oliva, girasole e mais. Tali nutrienti non sono sintetizzabili dal corpo umano e devono essere assunti con la dieta. Detti acidi grassi essenziali, svolgono le fondamentali funzioni di costituire i fosfolipidi, abbassare il contenuto di colesterolo nel sangue e fornire i precursori delle prostaglandine, ormoni che hanno azione antinfiammatoria e nella contrazione della muscolatura liscia. Per quanto riguarda i grassi *trans*, nonostante possano esistere in natura, ad esempio generati da batteri durante la ruminazione, sono solitamente prodotti in maniera artificiale e costituiscono le cosiddette margarine o burri vegetali. I grassi idrogenati sono ottenuti attraverso un processo di idrogenazione che consiste nell'aggiunta di idrogeno per eliminare il doppio legame carbonio-carbonio in presenza di un catalizzatore, solitamente nichel. Possono essere collegati a malattie cardiovascolari e andrebbero evitati il più possibile nelle diete. Una valida alternativa per produrre margarine è il frazionamento che comporta la separazione dei grassi insaturi da quelli saturi che vengono poi utilizzati per tale scopo [2].

I gliceridi sono composti ottenuti dall'unione del glicerolo, composto organico di formula bruta $C_3H_8O_3$, con degli acidi grassi. Il glicerolo è un polialcol dotato di tre gruppi ossidrilici in grado di innescare una reazione di condensazione, detta esterificazione, con i gruppi carbossilici degli acidi grassi. Il prodotto sono esteri, molecole di monogliceridi, digliceridi e trigliceridi a

seconda del numero di acidi grassi che reagiscono con il glicerolo. Avremo un gliceride puro nel caso in cui gli acidi grassi sostituenti i gruppi ossidrilici siano uguali oppure un gliceride misto se diversi l'uno dall'altro. La reazione opposta è l'idrolisi che permette grazie alla presenza di una, due o tre molecole di acqua di ottenere nuovamente gli acidi grassi e il glicerolo (Fig. 1.12). Mono e digliceridi liberi possono formarsi durante il processo di cottura. A livello industriale vengono spesso addizionati ai cibi confezionati con la funzione di emulsionanti, ottenuti da oli di colza e girasole [2, 12].



Fig. 1.12: Reazione di esterificazione e di idrolisi di un gliceride [2].

Gli steroidi sono lipidi con una base policiclica formati da quattro anelli di carbonio condensati. Lo steroide più importante dal punto di vista biologico è il colesterolo, presente nella membrana cellulare con funzione strutturale e precursore degli ormoni sessuali e cortico-surrenali, dei sali biliari e della vitamina D. Il colesterolo è insolubile in acqua e può circolare nel sangue solamente legato alle lipoproteine che si distinguono in:

- low density lipoprotein: trasportano il colesterolo dal fegato ai tessuti. Costituisce il cosiddetto colesterolo cattivo il cui eccesso favorisce la formazione di ateromi, placche

di grasso che con il tempo ostruiscono le arterie, causando l'insorgenza dell'aterosclerosi;

- high density lipoprotein: trasportano il grasso dalle arterie al fegato e costituiscono il colesterolo buono.

L'origine del colesterolo è prevalentemente endogena ma viene introdotto anche attraverso la dieta (esogeno). Cibi di origine animale come uova, carne rossa, insaccati e formaggi possono aumentare il colesterolo cattivo mentre un'alimentazione basata su alimenti di origine vegetale che contengono fitosteroli può favorirne la riduzione [2, 12].

Tra i lipidi complessi bisogna ricordare i fosfolipidi, formati da una testa idrofila e due code idrofobe mediante l'esterificazione di una molecola di glicerolo con due acidi grassi e un gruppo fosfato. Essendo parzialmente solubili in acqua sono particolarmente adatti a formare la doppia membrana cellulare con le code rivolte all'interno e le teste all'esterno. Dal punto di vista alimentare vanno citate le lecitine, in particolare di soia, i fosfolipidi maggiormente utilizzati in ambito industriale come emulsionanti.

Le funzioni dei lipidi introdotti con l'alimentazione sono molteplici: aumentare il senso di sazietà, trasportare le vitamine liposolubili e ovviamente rendere più appetibili i cibi. In particolare, svolgono un'azione:

- energetica: 1 grammo equivale a 9 kcal. Vengono immagazzinati sotto forma di trigliceridi nel tessuto adiposo, che ha una funzione di riserva energetica e di mantenimento della temperatura corporea;
- plastica: costituiscono le membrane cellulari;
- regolatrice: i lipidi costituiscono ormoni come gli ormoni steroidei e le prostaglandine [2, 13].

In una dieta equilibrata i grassi non dovrebbero superare il 20-35% delle calorie totali giornaliere. I grassi saturi andrebbero tenuti sotto il 10% per evitare l'aumento del colesterolo con il conseguente rischio di malattie cardiovascolari. Sono da preferire i grassi insaturi e in particolare gli omega 3 e 6. D'altro canto, una dieta povera di grassi non permette il corretto assorbimento delle vitamine liposolubili (A, D, E e K) causando anche gravi carenze all'organismo (Fig. 1.13) [2].



Fig. 1.13: Schema esemplificativo dei diversi tipi di grassi e i loro effetti sulla salute [2].

Vitamine e fitonutrienti

Le vitamine sono molecole presenti in piccole quantità nel nostro organismo ma essenziali per lo svolgimento delle funzioni vitali. Per tale motivo, insieme ai fitonutrienti, possono essere definite micronutrienti, contrariamente ai glucidi, protidi e lipidi che, essendo necessari in quantità nettamente maggiori, sono detti macronutrienti. Le vitamine, il cui fabbisogno giornaliero è nell'ordine dei milli o microgrammi, sono molecole di dimensioni ridotte, hanno specificità di azione, regolano il metabolismo fungendo spesso da coenzimi e non forniscono

energia. Sono presenti in tracce negli alimenti e vengono facilmente deteriorate da processi di cottura. Sono suddivise in vitamine idrosolubili (vitamine del gruppo B e vitamina C) e liposolubili (vitamine A, D, E, K). Un eccesso di vitamine, in particolare quelle liposolubili che si accumulano nel fegato, è detto ipervitaminosi mentre una carenza viene definita ipo o avitaminosi, a seconda della gravità e può essere causata da diete incomplete o monotone e diverse malattie e disturbi legati alle funzioni digestive e di assorbimento intestinale (Fig. 1.14) [2, 13]. Tra le vitamine idrosolubili troviamo:

- le otto vitamine del gruppo B, fondamentali nel metabolismo dei macronutrienti in quanto fungono da coenzimi. La vitamina B₁ o tiamina è ampiamente diffusa in cereali, lievito di birra, legumi, carne, uova e latte. Interviene nel metabolismo dei glucidi e nella trasmissione dell'impulso nervoso. La sua carenza provoca la malattia beri-beri, particolarmente diffusa nel Sud-Est asiatico, dove la dieta si basa sul riso. La vitamina B₂ o riboflavina, presente nel lievito e nelle frattaglie, partecipa a numerose reazioni cellulari. La sua carenza si manifesta attraverso la stomatite. La vitamina PP o niacina si trova nel lievito e nei prodotti di origine animale e interviene nel metabolismo dei macronutrienti e nel funzionamento del sistema nervoso. Una dieta carente di tale vitamina può causare la pellagra, malattia che comporta dermatiti, diarrea e demenze. La vitamina B₅ o acido pantotenico, presente in tutti i tessuti vegetali e animali, è un costituente del coenzima A, fondamentale nel metabolismo dei macronutrienti. La vitamina B₆ o piridossina si può reperire in carne, pesce, uova, legumi, cereali e frutta. Svolge un importante compito nel funzionamento del sistema nervoso centrale e nella sintesi dell'emoglobina. La vitamina H o biotina è presente in lievito, legumi, carne e uova. È coinvolta nel metabolismo di amminoacidi e acidi grassi. La sua azione è contrastata dall'avidina, molecola tipica dell'uovo crudo e inattivata dalla cottura. La vitamina B₉ o acido folico, particolarmente presente in verdure, fegato, latte, uova e

legumi. Interviene nella moltiplicazione cellulare, nella formazione dei globuli rossi e del tubo neurale nell'embrione. Per quest'ultimo motivo una sua carenza in gravidanza è da evitare per non incorrere in aborti o malformazioni come la spina bifida. La vitamina B₁₂ o cobalamina, così chiamata perché contiene cobalto, si trova in formaggio, pesce e carne. Una sua carenza, spesso derivata da malassorbimenti, può causare l'anemia perniziosa, caratterizzata da globuli rossi di dimensioni anomale;

- la vitamina C o acido ascorbico, presente in agrumi, verdure, frutti di bosco, kiwi e patate. Favorisce l'assorbimento del ferro, aumenta le difese immunitarie, funge da antiossidante, previene i tumori, aiuta la cicatrizzazione e a mantenere l'integrità dei vasi sanguigni. La carenza di vitamina C causa lo scorbuto, malattia storicamente diffusa tra i marinai che provoca sanguinamenti alle gengive e immunodepressione.

Le vitamine liposolubili sono le seguenti:

- la vitamina A o retinolo, presente nel latte e derivati, uova e carne. Sotto forma di provitamina (caroteni) si trova nei vegetali giallo-arancio come carote e pesche e a foglia verde scuro. La sua azione è basilare nei processi della visione e una sua carenza può portare a emeralopia o cecità notturna e xeroftalmia, un ispessimento della cornea;
- la vitamina D o calciferolo, reperibile in pesce, latte e uova. Viene anche introdotto a partire da un suo precursore, il colesterolo presente nella pelle, grazie all'azione dei raggi solari. Regola il metabolismo del calcio e del fosforo, fondamentale per lo sviluppo osseo. Una sua carenza provoca rachitismo nei bambini e osteomalacia negli adulti;
- la vitamina E o tocoferolo, presente negli oli vegetali, frutta secca, verdure a foglia verde e nel germe dei cereali. Svolge un'azione antiossidante mantenendo l'integrità delle membrane cellulari;

- la vitamina K o fillochinone, che si trova nelle verdure a foglia verde, assume un importante ruolo nella coagulazione del sangue. La sua carenza, specialmente nel neonato, può compromettere la capacità di fermare emorragie [2].

I fitonutrienti svolgono un'importante azione antiossidante, prevengono lo sviluppo di tumori e di malattie cardiovascolari. Sono spesso responsabili dei colori che caratterizzano i vegetali che li producono. Tra questi ricordiamo:

- licopene e antocianine, causano il colore rosso di pomodori, angurie, lamponi e peperoni;
- carotenoidi, presenti in vegetali arancioni come carote, zucche arance e pesche;
- luteina, clorofilla e glucosinolati, provocano il colore verde di broccoli, asparagi, cavoli, lattuga e spinaci;
- antocianine e polifenoli, presenti in vegetali viola tra cui melanzane, radicchio prugne, uva e mirtilli;
- quercitina e glucotiocianati, reperibili in vegetali bianchi come aglio, porro, sedano, cavolo, mele, pere e banane [2].

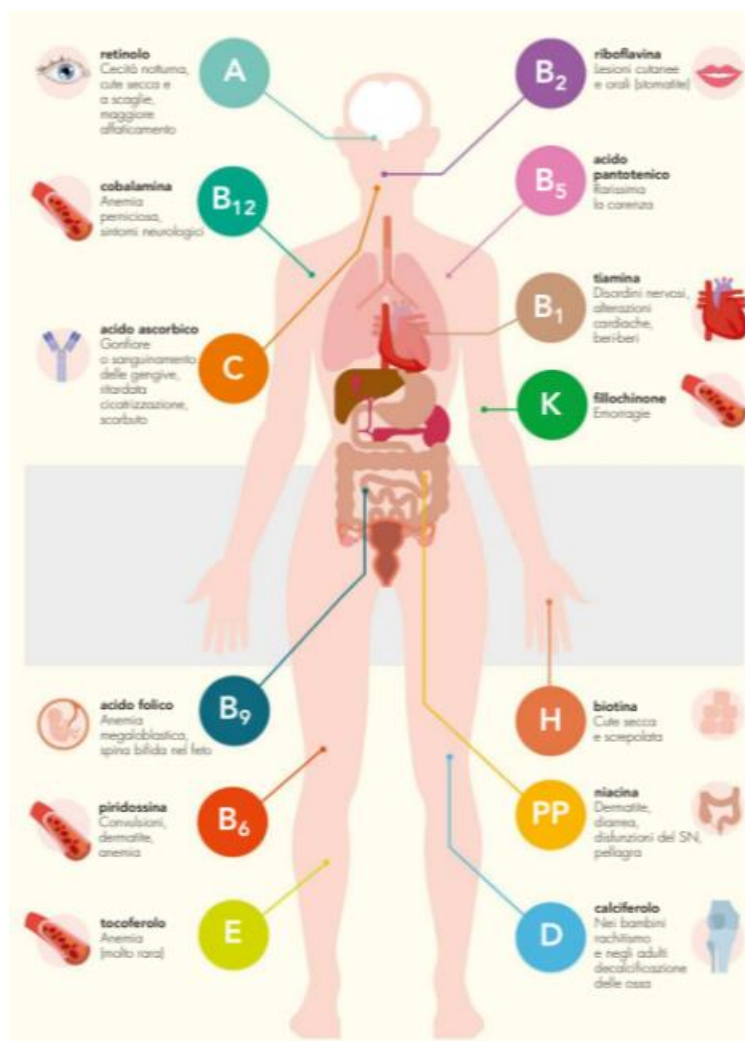


Fig. 1.14: Le vitamine e vari effetti sull'organismo causati dalla loro carenza [2].

Acqua e sali minerali

L'acqua è una molecola inorganica formata da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno legati tramite un legame covalente. La sua asimmetria nella distribuzione delle cariche la rende una molecola polare capace di creare interazioni con altre molecole di acqua o di varia natura, da cui il suo potere solvente. È il componente fondamentale per la vita: nell'essere umano rappresenta il 70% del peso corporeo ed è presente nelle cellule (acqua intracellulare) e all'esterno di esse (acqua extracellulare) (Fig. 1.15) L'acqua non fornisce calorie ma assume basilari funzioni di trasporto, veicolando il nutrimento alle cellule ed espellendo le sostanze di

scarto, termoregolatrice, attraverso la sudorazione e la traspirazione, e metabolica, regolando l'idrolisi dei macronutrienti. Sopperiamo al fabbisogno idrico giornaliero assumendo non solo liquidi ma anche cibi solidi che forniscono circa 1-1.5 L di acqua ogni giorno. Mediamente un apporto di acqua di 1 grammo per ogni caloria assunta è sufficiente al corretto mantenimento dell'organismo. Tale quantità corrisponde a circa 2 L di acqua al giorno ma il fabbisogno varia a seconda dell'età, genere, attività svolte e temperatura esterna. Il bilancio idrico esprime la relazione tra entrate di liquidi, che comportano l'acqua esogena, introdotta con bevande e cibi, ed endogena, prodotta metabolicamente, e uscite, l'acqua persa mediante respirazione, urine, sudorazione e traspirazione, nelle 24 ore. Per mantenere costante la quantità di liquidi è necessario che le entrate e le uscite siano in pareggio: un eccesso di acqua introdotta provoca iperidratazione mentre una perdita eccessiva causa disidratazione [2, 13].

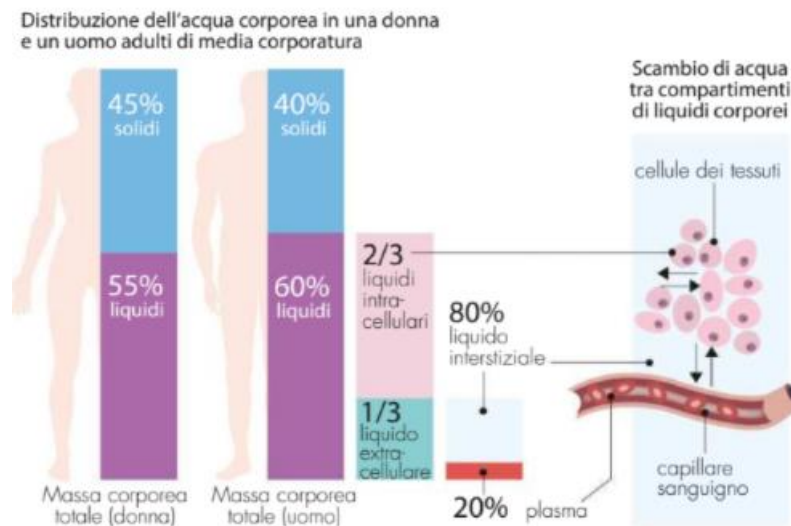


Fig. 1.15: Distribuzione dell'acqua corporea in una donna e un uomo [2].

I sali minerali sono i principali componenti della crosta terrestre che ritroviamo in acqua, frutta e verdura. Costituiscono il 4-6% del nostro peso corporeo e sono presenti in forma solida, i

fosfati di calcio che formano le ossa e i denti, e in soluzione nei liquidi cellulari ed extracellulari. Rappresentano micronutrienti essenziali che vengono introdotti mediante l'alimentazione. Non forniscono energia ma svolgono importanti funzioni strutturali, partecipando alla formazione dei tessuti, e regolatrici, intervenendo nei processi metabolici, regolando l'equilibrio idrico-salino e rendendo possibile la contrazione muscolare e il funzionamento del sistema nervoso [2, 13].

In base al fabbisogno dell'organismo i sali minerali vengono classificati in macroelementi, se necessari in quantità maggiori a 100 g/die, e micro o oligoelementi, se richiesti in quantità minori (Fig. 1.16). Nella prima categoria troviamo:

- calcio, elemento principale nel corpo umano, presente al 99% come fosfati delle ossa e dei denti. Il resto è presente in soluzione e interviene nella contrazione muscolare e nella trasmissione sinaptica. Il metabolismo del calcio è regolato dalla vitamina D e da due ormoni antagonisti, la calcitonina, secreta dalla tiroide, favorisce la formazione delle ossa, e il paratormone, prodotto dalle ghiandole parotidi, che stimola il rilascio di calcio dalle ossa. Alimenti ricchi di calcio sono il latte e i derivati, le uova e i legumi. La sua carenza porta a rachitismo nel bambino e osteoporosi nell'anziano;
- fosforo, indispensabile per la formazione dei fosfolipidi, dei fosfati ossei, delle molecole di acidi nucleici e per le reazioni metaboliche catalitiche. Viene assorbito a livello intestinale insieme al calcio in proporzioni ben definite. La carenza di fosforo è rara poiché la sua presenza è ubiquitaria negli alimenti;
- sodio, è principalmente presente nei liquidi extracellulari e interviene nella regolazione osmotica delle cellule, interviene nella trasmissione dell'impulso nervoso, nella regolazione del bilancio idrico e dell'equilibrio acido-base. La dose giornaliera raccomandata è 2 g/die e l'eccesso può provocare ipertensione arteriosa;

- potassio, si trova nei liquidi intracellulari e la sua azione è correlata a quella del sodio. La dose giornaliera consigliata è 4.5 g/die e una sua carenza può portare stanchezza prolungata, nausea e paralisi. Lo si incontra facilmente in legumi, frutta, verdura e patate;
- cloro, partecipa al mantenimento dell'equilibrio acido-base e della pressione osmotica e forma l'acido cloridrico presente nello stomaco. Viene assunto attraverso il sale da cucina principalmente.

I microelementi legati al corretto funzionamento dell'organismo sono:

- ferro, elemento fondamentale nel trasporto dell'ossigeno operato dall'emoglobina e della mioglobina. Il ferro viene assorbito solo se biodisponibile: il suo assorbimento viene favorito dalla presenza di vitamina C e ostacolato da ftalati e ossalati. Lo si incontra in carne, legumi e vegetali a foglia verde. Una sua carenza porta ad anemia ipocromica caratterizzata da una scarsa quantità di emoglobina nei globuli rossi;
- fluoro, componente dei minerali delle ossa e dei denti, viene assunto principalmente dall'acqua potabile. La sua carenza porta alla formazione di carie;
- iodio, il costituente principale degli ormoni tiroidei tiroxina o T4 e la triiodotironina o T3 che svolgono in ruolo fondamentale nel metabolismo cellulare. Alimenti ricchi di iodio sono i prodotti ittici e le alghe. Commercialmente lo si trova nel sale da cucina iodato. La carenza di iodio in gravidanza causa il cretinismo nel neonato mentre in età adulta l'ipotiroidismo.

Altri microelementi sono il selenio, ricavabile dalle patate che lo assorbono naturalmente dai suoli, e lo zinco, elemento importante per la fertilità reperibile in semi di zucca, pesce e carne [2, 13].

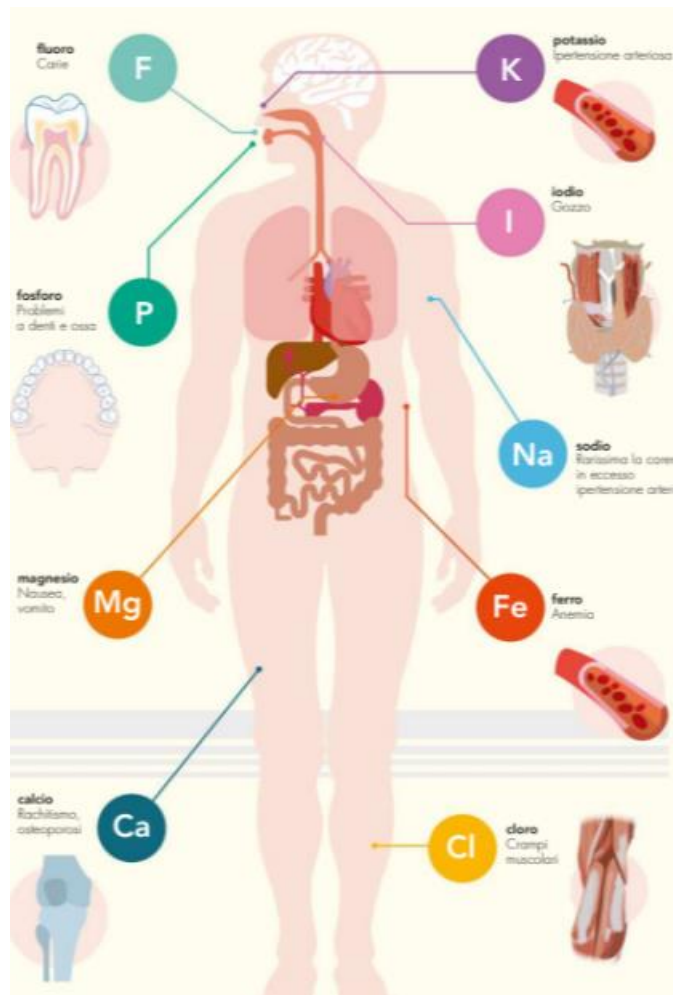


Fig. 1.16: Macro e microelementi e gli effetti delle loro carenze sull'organismo [2].

1.4 Cenni sull'apparato digerente

L'apparato digerente, come tutti gli apparati, è formato da un insieme di organi che collaborano allo svolgimento di una data funzione [2, 13]. Consiste in un tubo lungo 9-11 metri che inizia con la bocca e termina con l'ano, mettendo così in continuità l'organismo con l'ambiente esterno. Si tratta di tubo muscolare composto da organi cavi: cavità orale, faringe, esofago, stomaco, intestino tenue e intestino crasso. A questi si aggiungono gli organi accessori: denti, lingua, ghiandole esocrine (ghiandole salivari, fegato, pancreas, cistifellea) che riversano il loro secreto in dotti che si svuotano nel canale digerente. La nutrizione ha allo scopo di produrre

energia indispensabile per i processi vitali, tra cui, mantenere il metabolismo basale, compiere movimenti, rinnovare le cellule, crescere e riprodursi. Il cibo non può essere utilizzato dal nostro corpo così come lo introduciamo ma deve essere scomposto in particelle più semplici assorbibili dall'epitelio di rivestimento del canale digerente. Quest'ultimo presenta una parete composta da quattro strati che, dall'interno verso l'esterno, sono (Fig. 1.17):

- la tonaca mucosa, ricca di ghiandole, che funge azioni secretive, protettive e assorbenti a livello gastroenterico;
- la tonaca sottomucosa, ricca di vasi sanguigni e terminazioni nervose;
- la tonaca muscolare, composta da due strati di fibre muscolari, uno disposto in senso circolare e l'altro longitudinalmente;
- la tonaca sierosa, composta da tessuti sottili e lisci che avvolgono le pareti esterne dell'intestino.

La digestione che avviene nell'apparato digerente è meccanica, operata dai denti e dalla muscolatura, e chimica, a carico degli enzimi digestivi [2, 13].

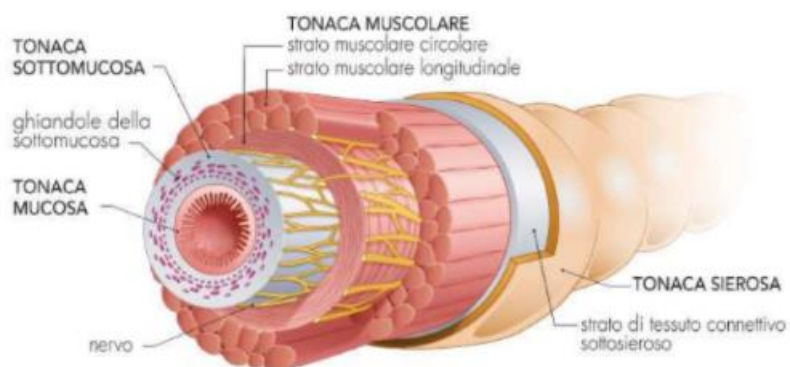


Fig. 1.17: Illustrazione dei tessuti che compongono l'apparato digerente [2].

Bocca

All'interno della bocca avviene la prima digestione del cibo. Il cibo è introdotto nella bocca (ingestione), dove i denti sminuzzano e trituranò il cibo in parti più piccole (scomposizione meccanica). La bocca è delimitata dalle labbra anteriormente, lateralmente dalle guance, superiormente dal palato duro e molle, che si prolunga verso il basso formando l'ugola e inferiormente dalla lingua. Quest'ultima è un muscolo che rimescola il cibo con la saliva e lo porta fra i denti, creando il cosiddetto bolo alimentare che può essere deglutito passando nella faringe e successivamente nell'esofago. I denti sono gli organi che trituranò il cibo e sono formati da tre parti: la radice, composta da radicole infisse nell'alveolo (cavità nelle ossa mandibolari e mascellari); la corona, porzione del dente che sporge dalle gengive; il colletto, porzione di passaggio tra corona e radice. Essi presentano tre tipi di tessuti: la dentina, tessuto osseo che contiene la polpa dentaria, lo smalto, tessuto duro che impedisce ai denti di consumarsi velocemente e il cemento che ricopre la dentina a livello della radice. La dentizione definitiva, che sostituisce quella decidua intorno ai sei anni di vita, è costituita da 32 denti (8 incisivi, 4 canini, 8 premolari e 12 molari). Sulla superficie della lingua troviamo le papille gustative, responsabili della percezione del gusto degli alimenti e i sapori fondamentali: dolce, amaro, acido, salato e umami. La membrana mucosa che riveste la bocca contiene numerose ghiandole che rivestono il loro secreto, la saliva, nella bocca. La maggior parte della saliva viene tuttavia prodotta dalle ghiandole salivari maggiori (parotidi, sottomandibolari e sottolinguali). La saliva è formata da acqua ed enzimi digestivi. In particolare, la saliva contiene l'enzima ptialina o α -amilasi che inizia la scomposizione chimica dei carboidrati in destrine e maltosio e il lisozima, sostanza con azione antibatterica [2, 13].

Faringe ed esofago

Il boccone di cibo masticato forma una pallottola chiamata bolo che viene deglutita, passando dalla bocca alla faringe e poi all'esofago. La faringe è un tubo muscolare lungo 12-14 cm in comune con l'apparato respiratorio in grado di convogliare il bolo nell'esofago e l'aria inspirata verso la laringe. È suddivisa in nasofaringe, in comunicazione con le cavità nasali, orofaringe, che costituisce la gola, e laringofaringe, la parte inferiore. Con la deglutizione, la laringe si alza e l'epiglottide, un piccolo lembo muscolare, chiude l'ingresso verso la laringe e quindi la trachea, procurando spazio per il passaggio del bolo alimentare nell'esofago. L'esofago è un organo cavo che collega la bocca allo stomaco, i muscoli involontari dell'esofago si contraggono e spingono il bolo nello stomaco mediante le onde peristaltiche, contrazioni involontarie. Si trova posteriormente alla trachea, è collegato alla faringe attraverso lo sfintere esofageo superiore e allo stomaco attraverso lo sfintere esofageo inferiore (cardias), che impedisce al cibo di risalire. Di media ha una lunghezza di circa 25 cm e un diametro di circa 2-3 cm (Fig. 1.18) [2, 13].

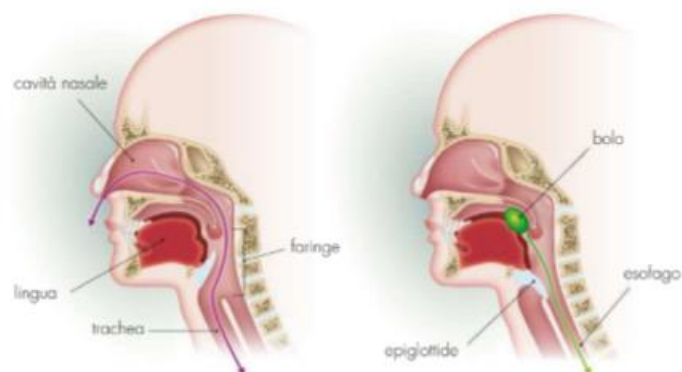


Fig. 1.18: Immagine riportante la struttura della faringe e dell'esofago [2].

Stomaco

Il viaggio del cibo prosegue nello stomaco, porzione dilatata del tubo digerente. Lo stomaco svolge fondamentalmente le funzioni di accumulo del cibo ingerito, trasformazione meccanica del cibo ingerito e digestione chimica attraverso la rottura di legami chimici per azione di acidi ed enzimi. Si possono distinguere le seguenti zone: il fondo, zona a fondo cieco sopra l'orifizio cardiaco, il corpo, tra fondo e piloro e l'antro pilorico, circostante l'orifizio pilorico che comunica con l'intestino tenue. La parete dello stomaco è ricoperta da ghiandole che secernono il succo gastrico, composto da acido cloridrico e diversi enzimi, come la pepsina per la digestione delle proteine e il fattore intrinseco che si lega alla vitamina B₁₂ per permettere il suo assorbimento a livello intestinale, e il muco che svolge un'azione protettiva. L'acido cloridrico scioglie il cibo, ha una funzione immunitaria e trasforma il bolo in una zuppa viscosa chiamata chimo. Il tempo di permanenza del cibo nello stomaco varia in base alla tipologia di alimento ingerito, variando da pochi minuti a ore. Lo stomaco di una persona adulta può contenere fino ad un litro di cibo [2, 13].

Intestino tenue e crasso

Il cibo prosegue il suo viaggio prima nell'intestino tenue e poi in quello crasso. Entrambi sono degli organi a forma di tubo, molto lunghi, con una superficie di assorbimento di circa 300 metri quadrati. Il ruolo fondamentale dell'intestino tenue è la digestione e l'assorbimento delle sostanze nutritive: l'intestino prende i nutrienti ottenuti dalla digestione del cibo e attraverso il sangue li trasporta nel corpo, questo processo si chiama assorbimento. L'intestino tenue negli adulti è lungo circa 7-8 metri con un diametro di circa 3 cm (circa 4 cm a livello dello stomaco e circa 2,5 cm alla giunzione con l'intestino crasso). Si estende dallo sfintere pilorico alla valvola ileocecale e si suddivide in tre porzioni distinte:

- il duodeno (circa 25 cm), nel quale confluiscono i condotti provenienti dal fegato e dal pancreas, portando bile e succo pancreatico che neutralizzano l'acidità dello stomaco;
- il digiuno (circa 2.5 m), che congiunge il duodeno all'ileo;
- l'ileo (circa 3.5 m), ultima parte dell'intestino tenue che lo connette all'intestino crasso mediante la valvola ileocecale.

La mucosa dell'intestino tenue è sollevata in pieghe circolari dette valvole conniventi e in minute sporgenze chiamate villi intestinali. Questi ultimi hanno la funzione di accrescere la superficie intestinale per assorbire i nutrienti in maniera efficace. Sotto la parete dei villi è presente una rete di capillari venosi e arteriosi con al centro un vaso linfatico, detto chilifero. I villi presentano due tipologie di cellule: assorbenti (enterociti), che presentano microvilli per aumentare ulteriormente la capacità di assimilare i nutrienti, e mucipare, che secernono muco (Fig. 1.19). Il bolo viene trasformato nel cosiddetto chilo che viene sottoposto ai movimenti peristaltici e ritmici che lo fanno progredire e rimescolare. Nell'intestino tenue ricomincia la demolizione dell'amido ad opera dell'amilasi pancreatica che lo idrolizza ulteriormente in destrine e maltosio. Inoltre, gli enzimi presente nel succo enterico, maltasi, saccarasi e lattasi, idrolizzano i disaccaridi in monosaccaridi (glucosio, fruttosio e galattosio). Questi ultimi, vengono assorbiti dai villi e trasportati attraverso la vena porta al fegato dove seguono diverse vie metaboliche (produzione di energia e sintesi di glicogeno). Nell'intestino prosegue anche la demolizione dei polipeptidi ad opera delle proteasi pancreatiche (tripsina, chimotripsina e carbossipeptidasi), ottenendo così un pool di amminoacidi liberi che vengono assorbiti dai villi e trasportati al fegato. In questa sede vengono utilizzati per numerosi processi metabolici tra cui la sintesi di proteine plasmatiche e di amminoacidi non essenziali o immessi in circolo e trasportati a tutte le cellule che li utilizzano per processi di crescita, mantenimenti e riparazione. I lipidi, dopo essere stati attaccati dalla lipasi gastrica, giungono al duodeno dove i sali biliari

li emulsionano esponendoli all'azione idrolitica della lipasi pancreatica. L'idrolisi dei trigliceridi libera digliceridi e monogliceridi e successivamente glicerolo e acidi grassi. Questi ultimi, assorbiti dai villi intestinali entrano direttamente nella circolazione sanguigna e giungono al fegato se a catena corta (meno di 12 atomi di carbonio), altrimenti si ricombinano con il glicerolo e vengono assorbiti dal vaso chilifero passando nel sistema linfatico. Nella linfa i trigliceridi circolano sotto forma di chilomicroni (gocce di trigliceridi rivestiti da una membrana proteica) e arrivano alle cellule che li utilizzano per ricavare energia o per immagazzinarli sotto forma di tessuto adiposo. Anche l'assorbimento delle vitamine idrosolubili e liposolubili avviene principalmente nel tenue. Il cibo non digerito o non assorbito prosegue il suo percorso nell'intestino crasso, dove si completa l'assorbimento dei nutrienti. All'interno del crasso il cibo non digerito e gli scarti sono trasportati fuori dal corpo sotto forma di feci e si ha il recupero dell'acqua, processo chiamato eliminazione. L'intestino crasso è detto anche grande perché è lungo circa 1,5 m, ma con diametro di 7,5 cm. Si suddivide in tre porzioni:

- il cieco (circa 6 cm), che consiste in una sacca con un'appendice vermiforme;
- il colon, formato dal tratto ascendente, trasverso e discendente;
- il retto (lungo 16 cm), che termina nell'orifizio anale.

Nella tonaca mucosa del crasso sono presenti ghiandole che secernono muco ma non enzimi digestivi. L'intestino crasso compie movimenti di segmentazione e di peristalsi di massa per rimescolare e trasferire rapidamente il contenuto. Nel colon vivono numerosi organismi, il microbiota intestinale, molto utili per l'organismo: sintetizzano vitamine del gruppo B, la vitamina K e contribuiscono al regolare funzionamento del sistema immunitario [2, 13].



Fig. 1.19: Illustrazione delle pieghe della mucosa e dei villi intestinali [2].

Fegato

Il fegato, con il suo peso di circa 1,5 kg, è la più grande ghiandola del corpo. È situato sotto al diaframma nella parte destra della cavità addominale. Durante la digestione, il sangue ricco di nutrienti giunge dall'intestino tenue dove vengono utilizzati o rimessi in circolo. Tra le funzioni del fegato troviamo la produzione di bile, la sintesi del glicogeno, la demolizione degli amminoacidi, l'inattivazione di sostanze tossiche e l'immagazzinamento di vitamine e ferro. Nella parte inferiore si colloca la cistifellea, un organo piriforme che immagazzina la bile e la immette nel duodeno attraverso il coledoco, dove emulsiona i grassi favorendo l'azione della lipasi pancreatico [2, 13].

Pancreas

Il pancreas è una ghiandola posta posteriormente allo stomaco, lunga 15-20 cm, di forma allungata. Svolge due attività secretorie, essendo una ghiandola a secrezione mista: il pancreas esocrino (98% dell'organo) produce il succo pancreatico, un liquido viscoso e basico ricco di enzimi (proteasi, amilasi e lipasi) che viene riversato nel duodeno; pancreas endocrino (2% dell'organo), costituito dalle isole di Langerhans che secernono l'insulina e il glucagone, due ormoni fondamentali nella regolazione del metabolismo glucidico [2, 13].

2. Obiettivi della tesi

L'alimentazione è un processo naturale e indispensabile per ogni essere vivente. Durante l'ultima epoca geologica, spesso definita Antropocene, l'uomo è divenuto responsabile dell'agricoltura e allevamento intensivi e dell'industria alimentare, investendosi di una cruciale responsabilità verso sé stesso e l'intero pianeta. Per questo, la cura che bisogna riporre nella scelta degli alimenti più idonei per il benessere di noi stessi e dell'ambiente risulta al giorno d'oggi un tema di grande rilevanza. Nelle Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola d'infanzia e del primo ciclo d'istruzione (2025) [14] tra gli obiettivi di apprendimento da acquisire al termine della classe terza della scuola secondaria di primo grado troviamo *“sviluppare la cura e il controllo della propria salute attraverso una corretta alimentazione”* e *“assumere comportamenti e scelte personali ecologicamente sostenibili”*. Raggiungere tali competenze è sicuramente più efficace attraverso una didattica attiva e laboratoriale, come sottolineato nelle Indicazioni nazionali per i licei (2010) [15]: *“il laboratorio è uno dei momenti più significativi in cui essa -la dimensione sperimentale- si esprime, in quanto circostanza privilegiata del fare scienza”*; *“tale dimensione rimane un aspetto irrinunciabile della formazione scientifica e una guida per tutto il percorso formativo, anche quando non siano possibili attività di laboratorio in senso stretto, ad esempio attraverso la presentazione, discussione ed elaborazione di dati sperimentali”*. Alla luce di tali motivazioni, scopo del presente tirocinio e conseguente sviluppo della tesi magistrale è la formulazione di protocolli per attività didattiche e laboratoriali rivolti in maniera specifica agli studenti della scuola secondaria di primo grado e del primo biennio della scuola secondaria di secondo grado avente come tematiche alimentazione, sostenibilità e ambiente.

Con il fine di raccogliere importanti dati sulla devoluzione di questi argomenti, è stato formulato un questionario mediante Google Moduli e fornito ad un campione di docenti

fidelizzati alla Fondazione Golinelli. Il questionario, riportato nella sua interezza nella sezione 3.1 del Capitolo 3, è suddiviso in tre parti: la prima sezione permette al docente di dichiarare quali discipline insegna, in che grado e in quale provincia; la seconda indaga in che misura è interessato a lezioni divulgative e laboratoriali su alimentazione e sostenibilità e lo chiama a descrivere le eventuali attività già svolte sull'alimentazione sostenibile; la terza permette agli insegnanti interessati di esprimere le proprie preferenze in merito a tematiche specifiche da presentare ai propri studenti, ai metodi didattici da utilizzare e il quantitativo di ore da dedicarvi. Chiude il questionario una domanda relativa all'interesse per la partecipazione alla formazione degli studenti su tali temi di enti esterni come la Fondazione Golinelli, capaci di svolgere laboratori e attività interattive elaborate su misura e mirate a suscitare il coinvolgimento dei giovani fruitori.

Sulle risposte ottenute è stata svolta un'analisi statistica discussa nella sezione 4.1 del Capitolo 4. In particolare, si è cercato di suddividere le preferenze espresse dai docenti sulle tematiche per le attività didattiche future in base al grado scolastico di insegnamento. Lo scopo di tale differenziazione è stata la formulazione diversificata di protocolli didattici mirati alla scuola secondaria di primo o a quella di secondo grado. Nella sezione 4.2 vengono presentati tre protocolli per la scuola secondaria di primo grado basati sulla formulazione di menù sostenibili, sul fabbisogno calorico e sull'apparato digerente. La sezione successiva riporta due protocolli rivolti al primo biennio della scuola secondaria di primo grado che comportano esperienze laboratoriali incentrate sulla celiachia e gluten-sensitivity e sul processo della digestione operato dall'enzima pepsina. Data la forte eterogeneità delle preferenze espresse dai docenti riguardo le tematiche da svolgere sono stati elaborati ulteriori protocolli che cercano di soddisfare tutti i desiderata. Vengono, infatti, descritti nella sezione 4.3 cinque protocolli aggiuntivi sull'uso dell'Intelligenza Artificiale in campo didattico, sul benessere animale, sulla tutela della biodiversità in agricoltura, sull'uso in campo artistico del fiele di bue e dei caseinati

(legati all'apparato digerente) e sull'orto didattico. Obiettivo finale del presente lavoro di tesi è, dunque, fornire ai docenti un'ampia scelta di protocolli didattici elaborati su misura per promuovere la formazione degli studenti e studentesse sull'alimentazione sana e sostenibile attraverso metodologie didattiche attive e laboratoriali.

3. Materiali e metodi

3.1 Il questionario docenti

Come descritto nel Capitolo 2, lo scopo della tesi è la formulazione di protocolli per attività didattiche sull'alimentazione sostenibile per la scuola secondaria di primo grado e il primo biennio della secondaria di secondo grado. La base per tale progetto è la somministrazione di un questionario a un campione di docenti, contattati mediante la Fondazione Golinelli, per ottenere indicazioni reali sui programmi svolti a scuola e sui desiderata riguardo la formulazione di attività future. Il questionario è stato implementato attraverso Google Moduli, il cui link è accessibile anche tramite QR code generato sul sito QRCode Monkey, un generatore gratuito di codici personalizzati (Fig. 3.1). Google Moduli è un'applicazione per la creazione di sondaggi inclusa nella suite per ufficio di Google Drive insieme a Documenti Google, Fogli Google e Presentazioni Google. Si tratta di un software collaborativo nato nel 2018, dopo le prime versioni presentate a partire dal 2014, che permette di raccogliere informazioni dagli utenti tramite sondaggi e quiz. Le informazioni vengono automaticamente collegate a un foglio di calcolo, compilato con le risposte che gli utenti hanno dato. Permette inoltre di presentare i dati statisticamente, fornendo le percentuali delle risposte ai quesiti e presentandole in maniera chiara con grafici a torta e istogrammi.

Il presente questionario presenta 14 quesiti da rivolgere ai docenti che possono rispondere mantenendo l'anonimato attraverso computer o smartphone. Vengono di seguito riportati i quesiti commentati:

1. La sua attività di insegnamento è rivolta a:
 - Scuola secondaria di primo grado
 - Scuola secondaria di secondo grado
 - Entrambe

2. In che provincia si trova la scuola in cui insegna?
3. Quale o quali sono le discipline che insegna?
 - Matematica e scienze (A-28)
 - Tecnologia nella scuola secondaria di I grado (A-60)
 - Scienze degli alimenti (A-31)
 - Scienze della mineralogia e geologia (A-32)
 - Scienze della chimica (A-34)
 - Scienze naturali, chimiche e geologiche (A-50)
 - Scienze, tecnologie e tecniche agrarie (A-51)
 - Scienze, tecnologie e tecniche di produzione animale (A-52)
 - Laboratori di scienze e tecnologie agrarie e micro-biologiche (B-11)
 - Laboratorio di scienze chimiche (B-12)
 - Altro:

Le prime tre domande rivestono la funzione di inquadrare il docente dal punto di vista professionale, chiamandolo a riportare il grado scolastico e la o le discipline di insegnamento e la provincia in cui esercita.

4. Nelle Indicazioni nazionali e/o linee guida della Scuola secondaria di primo e secondo grado viene sottolineata l'importanza dell'educazione alimentare e dell'alimentazione sostenibile. Nel contesto della sua progettazione didattica relativa all'anno scolastico trascorso hanno trovato spazio questi argomenti?
 - Sì
 - No

Il quesito 4 impone una prima divisione: in caso affermativo il docente viene automaticamente rimandato alla domanda 6, altrimenti è invitato a rispondere alla 5.

5. Le interesserebbe comunque partecipare alla formazione di studenti e studentesse sull'alimentazione sostenibile attraverso (è possibile scegliere più opzioni):

- Lezioni in compresenza a docenti di discipline più attinenti all'alimentazione
- Partecipazione della classe a incontri con esperti
- Uscite didattiche
- Non prenderei comunque parte a tali iniziative
- Altro:

Il presente quesito permette di valutare l'interesse alla partecipazione dei docenti che non hanno affrontato tali tematiche in classe. In caso di mancato interesse il questionario rimanda direttamente alla pagina di invio.

6. In quale o quali classi ha affrontato percorsi didattici e laboratoriali relativi ai suddetti temi?

- Classe 1[^] della scuola secondaria di primo grado
- Classe 2[^] della scuola secondaria di primo grado
- Classe 3[^] della scuola secondaria di primo grado
- Classe 1[^] della scuola secondaria di secondo grado
- Classe 2[^] della scuola secondaria di secondo grado
- Altro:

7. Con quali modalità ha presentato la scienza dell'alimentazione con particolare riferimento alla sostenibilità? Sono possibili più risposte.

- Lezioni partecipate
- Letture specifiche
- Visione di materiale multimediale
- Attività laboratoriali
- Incontri con esperti

- Uscite didattiche
 - Esposizione di materiale reperito con l'ausilio dell'Intelligenza Artificiale
 - Altro:
8. Quante ore ha dedicato a tali attività?
9. Quali temi ha trattato?
- Principi dell'alimentazione sana e sostenibile
 - Water e/o Carbon footprint
 - L'importanza delle produzioni agro-zootecniche biologiche, sostenibili e a km 0
 - Buone norme per ridurre gli sprechi e l'inquinamento legati alla produzione e al consumo alimentare
 - Il legame tra l'impatto dell'alimentazione umana e i cambiamenti climatici globali
 - Altro:

Le domande 6, 7, 8 e 9 permettono al docente che ha già svolto unità didattiche sull'alimentazione sostenibile di riportare le modalità e le tematiche affrontate specificando la classe a cui sono state rivolte e le ore ad esse dedicate.

10. Quali argomenti tra i seguenti le potrebbe interessare proporre in futuro ai suoi studenti e studentesse? Sono possibili più risposte.
- Studio interattivo dell'apparato digerente e assimilazione dei macro/micronutrienti
 - Formulazione di menù sostenibili e volti al benessere
 - Presentazione di aziende agro-zootecniche sostenibili locali
 - Focus sulla biodiversità e sul benessere animale

- Attività laboratoriali su allergie e intolleranze alimentari e malattie legate all'alimentazione come il diabete
- Illustrazione della Carbon footprint e calcolo del proprio impatto sull'ambiente attraverso le nostre scelte alimentari
- Orto didattico
- Altro:

11. Quante ore vorrebbe dedicare a queste attività?

12. Attraverso quali modalità le piacerebbe trasmettere tali contenuti? Sono possibili più risposte.

- Lezioni interattive
- Attività di laboratorio
- Letture di articoli specifici
- Visione di video e film
- Dibattiti sulla base di materiale reperito mediante Intelligenza Artificiale
- Incontri con esperti esterni
- Uscite didattiche sul territorio e/o ad eventi dedicati
- Altro:

13. Da dove pensa di attingere le informazioni per lavorare su questi temi?

- Libri di testo e manuali
- Articoli scientifici
- Seminari
- Visite ad aziende sostenibili
- Documentari
- Intelligenza Artificiale
- Altro:

I quesiti 10, 11, 12 e 13 permettono di valutare le preferenze relative alla progettazione delle attività didattiche future. I docenti sono infatti chiamati ad indicare quali temi tratterebbero, con quali modalità, in quante ore e attraverso quali mezzi espletterebbero la propria formazione in materia.

14. Riterrebbe utile il supporto di un ente esterno che possa proporre specifici protocolli per attività didattiche e laboratoriali relative all'alimentazione sostenibile?

- Sì
- No
- Forse

Questa ultima domanda permette di sondare l'interesse alla partecipazione delle proprie classi ad attività organizzate da enti culturali esterni, come la Fondazione Golinelli stessa.



Fig. 3.1: QRCode relativo al questionario docenti sull'alimentazione sostenibile che rimanda al seguente link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeAyc7kgIQ50iKQFqT_tFbHdokd8GX5tBlRo0dLvCrLtK7yg/viewform?usp=publish-editor

3.2 Analisi statistica dei dati

La statistica descrittiva è quella branca della statistica che si occupa di raccogliere, sintetizzare e rappresentare i dati per fornire una panoramica delle loro caratteristiche principali, avvalendosi di diverse tecniche e indici per comunicare chiaramente i risultati [16]. Si differenzia dalla statistica inferenziale che è volta a fare previsioni e inferenze su determinati campioni. L'analisi svolta nel presente lavoro di tesi è rivolta ai docenti delle scuole secondarie di primo e secondo grado, che in termine tecnico statistico vengono definiti la popolazione. Il questionario docenti è stato somministrato a un determinato gruppo di essi, detto campione. Infine, il processo che permette di giungere a conclusioni generali partendo dai dati sul campione si chiama processo di inferenza statistica. L'affidabilità delle conclusioni dipende anche dalla scelta opportuna del campione che deve rappresentare fedelmente tutta la popolazione. Un modo per risolvere questo problema, quando si esamina una popolazione finita, consiste nell'assicurarsi che ciascun membro di essa abbia la stessa probabilità di essere estratto, ottenendo così un campione casuale. Nel nostro caso il campione è rappresentato da docenti fidelizzati alla Fondazione Golinelli che hanno liberamente scelto di partecipare al sondaggio in forma anonima. Per agevolare l'analisi statistica di campioni di grandi dimensioni si è soliti procedere alla suddivisione di questi in classi, intervalli di dati, definendo il numero di individui in esse presenti come frequenza assoluta della classe. In alcuni casi è conveniente considerare la distribuzione delle frequenze relative, ottenute calcolando il rapporto tra la frequenza assoluta e il numero di elementi del campione. A partire da esse si introducono le frequenze relative cumulate: la frequenza corrispondente ad una data classe è ottenuta dalla somma delle frequenze relative effettuata a partire dalla prima classe fino alla classe considerata. Le frequenze relative cumulate avranno quindi valori crescenti ed assumono valore 1 in corrispondenza dell'ultima classe. Le variabili che vengono considerate nella presente analisi statistica non sono variabili numeriche discrete o continue, essendo variabili

che presentano due o più categorie (e.g. sì o no oppure varie opzioni di scelta). Per la rappresentazione grafica di tali dati risulta utile la realizzazione di tabelle che presentano la variabile, la frequenza assoluta, la frequenza relativa e la frequenza relativa cumulata. Si possono poi studiare relazioni tra due diverse variabili introducendo la distribuzione di frequenza congiunta. Quest'ultima viene espressa attraverso una tabella, detta tabella di contingenza, che lega due variabili. Le tabelle vengono poi riassunte attraverso varie tipologie di grafici che hanno un chiaro impatto visivo. Tra questi ricordiamo:

- i grafici a barre, nei quali lungo l'asse delle ascisse vengono riportate le categorie della variabile considerata mentre le ordinate mostrano le frequenze assolute. Le altezze delle linee che partono dalle variabili sono direttamente proporzionali al numero di individui che hanno optato per tale scelta;
- gli istogrammi, grafici bidimensionali strutturati come quelli a barre ma utilizzati per campioni di grandi dimensioni suddivisi in classi. La rappresentazione della distribuzione delle frequenze avviene attraverso rettangoli di area proporzionale alle frequenze della classe, aventi base proporzionale all'ampiezza dell'intervallo della rispettiva classe. Essendo solitamente considerati intervalli uguali, l'altezza di ogni rettangolo corrisponde alla frequenza della classe;
- grafici sparsi o scatter, utili per rappresentare i dati di variabili casuali bivariate, cioè che assume due valori distinti rappresentati come coordinate x e y di un piano, esprimendo qualitativamente la relazione tra le due variabili. Se le variabili hanno una relazione lineare i punti nel grafico sono distribuiti lungo una retta, rendendo possibile l'utilizzo della regressione lineare;
- i grafici a torta, che rappresentando le proporzioni di un insieme di dati come fette di un cerchio, mostrano chiaramente la proporzione di un dato rispetto al totale. Risulta

molto utile per confrontare dati espressi in percentuali, proporzioni di dati rispetto a un totale definite come frazioni aventi come denominatore 100.

Uno strumento di analisi statistica utile rispetto agli scopi del presente progetto è rappresentato dalla moda campionaria. Siano x_1, x_2, \dots, x_n , i valori assunti da un campione di grandezza n scelto all'interno della popolazione. La moda del campione m è definita come il valore del campione che compare il maggior numero di volte. Per calcolare tale valore con dati qualitativi è necessario costruire una tabella, anche congiunta, che leghi le variabili alle relative frequenze assolute e rappresentare graficamente i dati con le varie tipologie di grafici descritti. L'analisi statistica utilizzata nel presente contesto è stata effettuata mediante l'ausilio del software applicativo Google Moduli che automaticamente studia i dati raccolti nei sondaggi presentandoli sotto forma di percentuali, istogrammi e grafici a torta. La costruzione di tabelle di dati congiunti e dei grafici sparsi è stata invece realizzata attraverso lo studio delle risposte individuali con lo scopo di collegare determinate esigenze a contesti differenti. In particolare si è cercato di studiare la relazione tra grado scolastico di insegnamento e preferenze tra gli argomenti proposti per l'elaborazione di attività didattiche sull'alimentazione sostenibile.

Altri due strumenti statistici che sono stati utilizzati per analizzare il quantitativo di ore che i docenti hanno dedicato e dedicherebbero in futuro ad attività didattiche sull'alimentazione sostenibile sono la media e la deviazione standard. La media campionaria è forse la misura del punto medio di un insieme di dati numerici più comunemente usata. Siano x_1, x_2, \dots, x_n i valori assunti da un campione di grandezza n scelto all'interno della popolazione. La media del campione o media campionaria \bar{x} è definita da:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m f_i x_i$$

dove n è il numero di elementi del campione, m il numero di classi, x_i il segno (il valore medio) della i -esima classe e f_i la frequenza assoluta della i -esima classe. La deviazione standard o scarto quadratico medio (σ) viene definita come una misura di dispersione statistica che sintetizza quanto i valori di una popolazione o di un campione si distribuiscono attorno alla media. È espressa nella stessa unità di misura dei dati osservati, a differenza della varianza che ha unità al quadrato:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m f_i (x_i - \bar{x})^2$$

3.3 Materiali per le attività laboratoriali didattiche

Nella seguente sezione vengono riportati i materiali necessari per lo svolgimento dei laboratori didattici. Le quantità dei materiali vanno calcolate per il numero dei gruppi in cui la classe viene suddivisa.

1. Attività sull'apparato digerente per la scuola secondaria di primo grado: un cracker, aceto di vino, detersivo, olio d'oliva o di semi, bicarbonato di sodio in polvere, acqua, latte intero, cartina tornasole (Merck), 3 becher grandi, 2 becher piccoli (per mostrare la flocculazione delle proteine del latte e l'azione del detersivo come tensioattivo), un cucchiaino, un filtro.
2. Laboratorio sulla celiachia per la scuola secondaria di secondo grado: farina di grano tenero, farina di avena, farina di grano saraceno, farina di castagne, farina di ceci (NB: anche altri tipi di farine, come quella di riso o di farro, possono essere utilizzati), etanolo al 96% (Merck, 64-17-5), idrossido di sodio in pellets (Merck, CAS No.1310-73-2), solfato rameico (Merck, CAS No. 7758-98-7), una bacinella, un setaccio, un portaprovette, 6 provette e acqua distillata. La preparazione delle soluzioni di NaOH 0,1 M, di CuSO₄ 1 M e di etanolo al 70% possono essere preparate dal docente prima

del laboratorio o coinvolgere gli studenti stessi. Per operare la digestione della farina si necessita acido cloridrico in soluzione 0.1 M (Merck, CAS No. 7647-01-0), pepsina in polvere (Merck, CAS No. 9001-75-6) per ottenere una soluzione al 5%, 2 provette.

3. Laboratorio incentrato sull'enzima pepsina ed i processi biochimici della digestione per la scuola secondaria di secondo grado: acido cloridrico in soluzione 0.1 M (Merck, CAS No. 7647-01-0), pepsina in polvere (Merck, CAS No. 9001-75-6), idrossido di sodio in pellets (Merck, CAS No.1310-73-2), un uovo sodo, cartina tornasole (Merck), acqua distillata, un portaprovette, 5 provette, una pipetta graduata, una micropipetta, una piastra riscaldante e un uovo crudo, 1 provetta e solfato rameico (Merck, CAS No. 7758-98-7) (per il test del biuretto). Anche in questo caso è possibile rendere partecipi gli studenti nella preparazione delle soluzioni della pepsina al 5%, NaOH 0,1 M, HCl 0,1 M, CuSO₄ 1 M.

4. Discussione dei risultati ed elaborazione dei protocolli didattici

4.1 Discussione dei dati raccolti mediante il questionario docenti

Il questionario proposto al campione dei docenti fidelizzati alla Fondazione Golinelli mirava all'acquisizione di dati reali sullo svolgimento di attività legate all'alimentazione sostenibile e sulle preferenze dei docenti per l'elaborazione di protocolli da svolgere in futuro. Le risposte ottenute sono state 23. Viene di seguito presentata l'analisi statistica relativa ai quesiti posti. Le percentuali riportate sono relative al numero di risposte ottenute ad ogni domanda. I grafici a torta sono stati elaborati per quesiti a risposta unica mentre gli istogrammi per quelli a risposta multipla.

1. Il 65,2% dei docenti partecipanti insegna alla scuola secondaria di secondo grado, il 26,1% nella scuola secondaria di primo grado e l'8,7% in entrambe (Fig. 4.1);

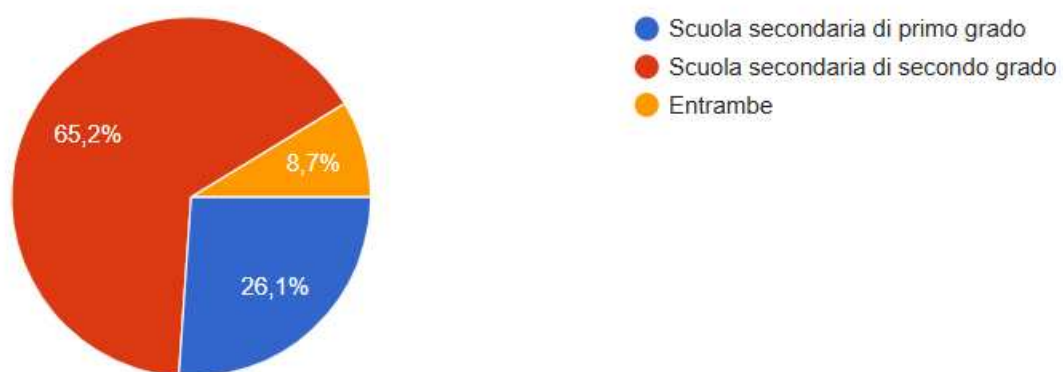


Fig. 4.1 Grafico a torta relativo al grado di insegnamento dei docenti intervistati.

2. La maggioranza dei docenti intervistati ha dichiarato di insegnare in Emilia Romagna, tra cui 60,8% a Bologna, l'8,7% a Ferrara e a Parma (Fig. 4.2):

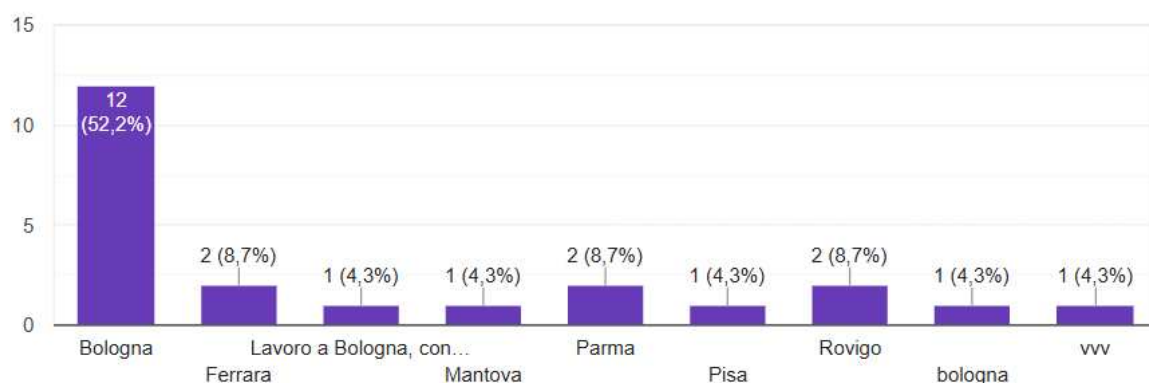


Fig. 4.2 Istogramma che mostra le città e/o province di insegnamento dei docenti interessati.

3. In relazione alla disciplina insegnata, in coerenza con la ripartizione tra i due diversi gradi scolastici rilevata dal quesito 1, il 78,3% e il 17,4% dei docenti hanno dichiarato di dedicarsi a rispettivamente a Scienze naturali, chimiche e geologiche (A-50) e a Scienze degli alimenti (A-31) alla secondaria di secondo grado mentre il 21,7% ha indicato Matematica e scienze (A-28) alla secondaria di primo grado (Fig. 4.3);

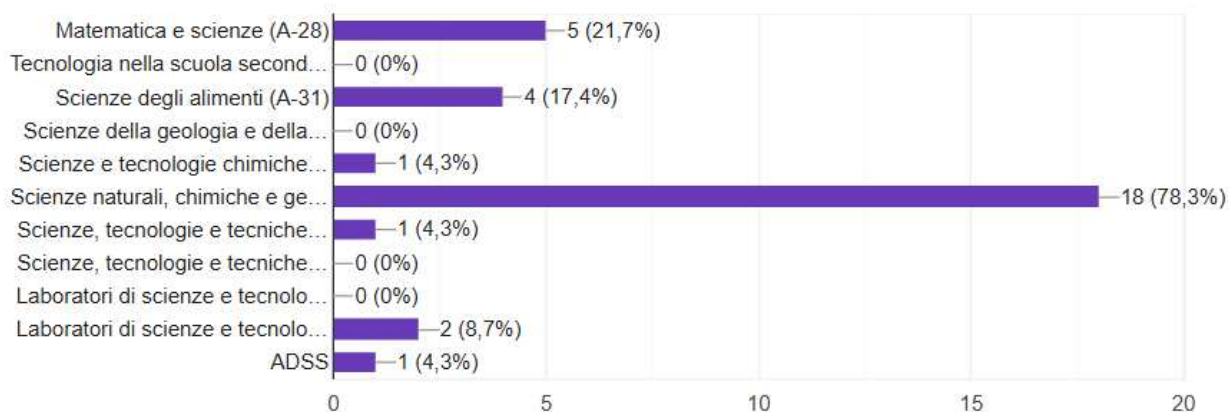


Fig. 4.3 Istogramma che mostra la percentuale di docenti che insegnano le discipline indicate.

4. Riguardo al quesito sull'eventuale svolgimento di attività didattiche sull'alimentazione sostenibile e l'educazione alimentare nel corso del passato anno scolastico il 95,7% dei docenti ha risposto in maniera affermativa mentre il restante 4,3% ha risposto negativamente. I primi hanno successivamente risposto ai quesiti 6, 7, 8, e 9 mentre i secondi sono stati rimandati alla domanda 5 per poi passare direttamente alla 10 (Fig. 4.4);

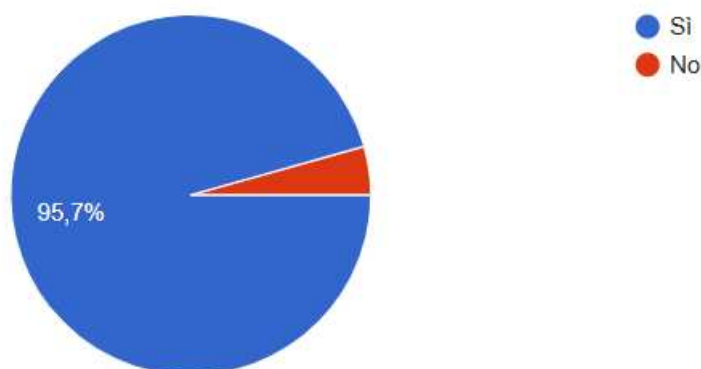


Fig. 4.4: Grafico a torta che mostra le percentuali di docenti che hanno svolto o meno attività sull'alimentazione sostenibile.

5. Il secondo gruppo, quello che non aveva svolto attività sull'alimentazione sostenibile, ha manifestato comunque il proprio interesse all'insegnamento di tali argomenti attraverso partecipazione della classe ad incontri con esperti (100%), uscite didattiche (50%) e lezioni in presenza con docenti di discipline più attinenti all'educazione alimentare (50%) (Fig. 4.5);

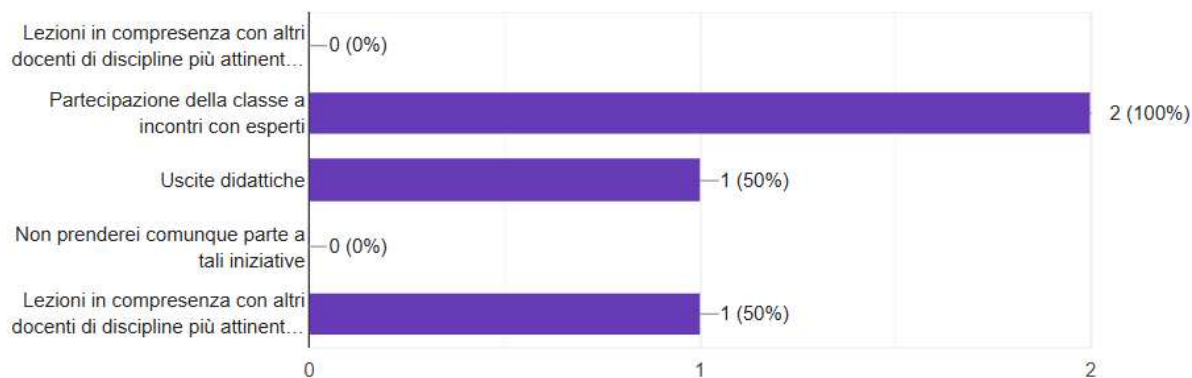


Fig. 4.5: Istogramma relativo alle attività che i docenti che non hanno scelto in passato didattica sull'alimentazione sostenibile preferirebbero proporre in futuro agli studenti.

6. Del primo gruppo di docenti, quello che ha svolto attività sull'alimentazione sostenibile, il 45,5% e il 31,8% lo avevano proposto a classi del secondo anno della scuola secondaria di primo grado e del secondo anno della scuola secondaria di secondo grado, rispettivamente. Nelle classi prime di entrambi i gradi tali temi sono stati trattati dal 13,6% dei docenti mentre nelle classi terze della secondaria di primo grado solo dal 4,5%. Le altre classi indicate (la quarta e quinta della scuola secondaria di secondo grado e della scuola primaria) esulano dal target individuato nel presente lavoro di tesi (Fig. 4.6);

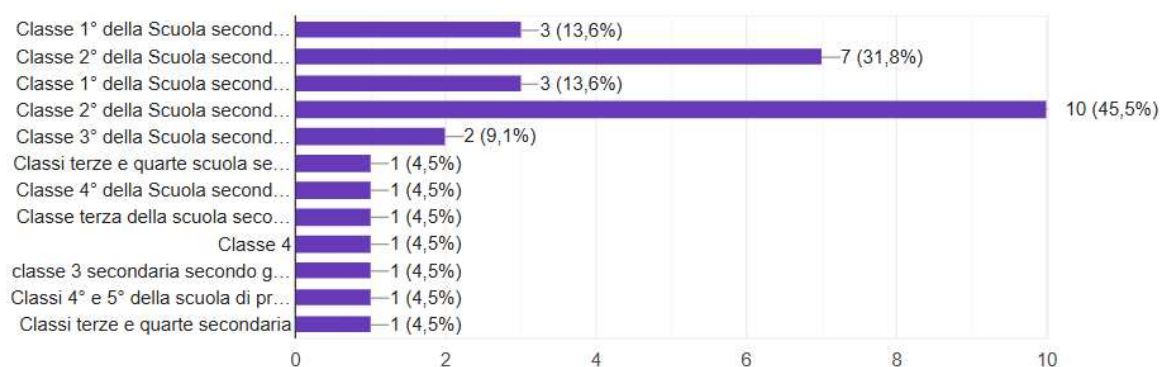


Fig. 4.6: Istogramma che indica in percentuale in quali classi sono state svolte attività sull'alimentazione sostenibile.

7. Per quanto riguarda le modalità con cui sono state presentate tali tematiche l'86,4% ha optato per lezioni partecipate. Anche attività laboratoriali e la visione di materiale multimediale sono state elette frequentemente come metodi didattici (scelte dal 54,5% e dal 50% rispettivamente). Risultano, invece, meno utilizzati letture specifiche, incontri con esperti ed uscite didattiche (Fig. 4.7);

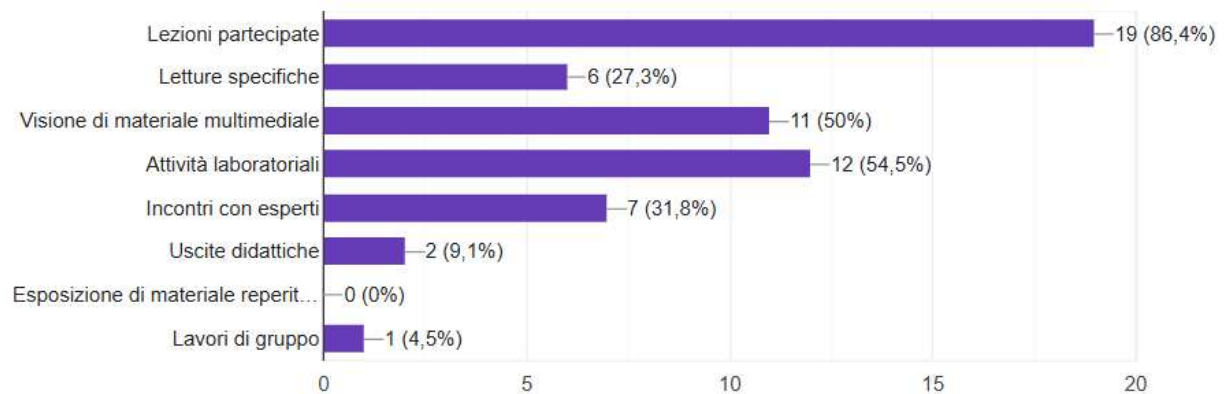


Fig. 4.7 Istogramma relativo alle modalità di trasmissione dei contenuti didattici nell'ambito dell'educazione alimentare.

8. Relativamente al tempo dedicato a tali attività, il quantitativo di ore indicate dai docenti è estremamente eterogeneo ma l'80% ha riportato tra le 2 e le 6 ore, di cui il 25% 4 ore e il 20% 6 ore; (Fig. 4.8);

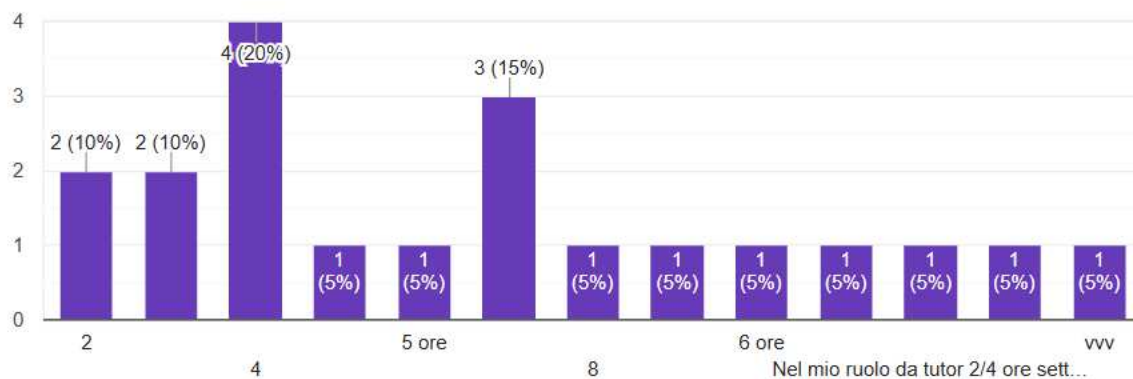


Fig. 4.8: Istogramma che indica in percentuale quante ore sono state dedicate a tematiche relative all'alimentazione e alla sostenibilità.

9. In merito ai temi trattati, il 95,5% ha optato per principi dell'alimentazione sana e sostenibile. Altri temi largamente trattati, entrambi indicati dal 59,1% dei docenti, sono stati le buone norme per ridurre gli sprechi e l'inquinamento legati alla produzione e al consumo alimentare e il legame tra l'impatto dell'alimentazione umana e cambiamenti climatici globali. Meno discussi risultano, invece, la water e/o carbon footprint e l'importanza delle produzioni agro-zootecniche sostenibili (Fig. 4.9);

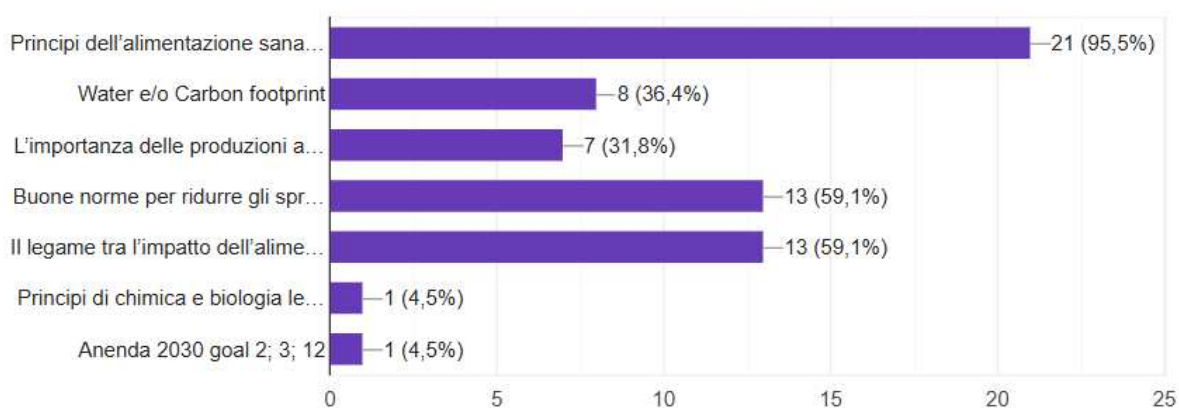


Fig. 4.9: Istogramma relativo ai temi trattati dai docenti nell'ambito dell'alimentazione sostenibile.

10. I docenti sono stati chiamati ad esprimere le loro preferenze in merito agli argomenti da trattare per attività future. Il 63,6% ha optato per attività laboratoriali su intolleranze, allergie e malattie legate all'alimentazione, risultando il tema più quotato. Anche lo studio interattivo dell'apparato digerente, la formulazione di menù sostenibili e il rispetto della biodiversità e del benessere animale hanno suscitato l'interesse di circa metà dei docenti. Di contro, meno selezionate sono state la presentazione di aziende agro-zootecniche sostenibili, il calcolo dell'impronta ecologica e l'orto didattico (Fig. 4.10);

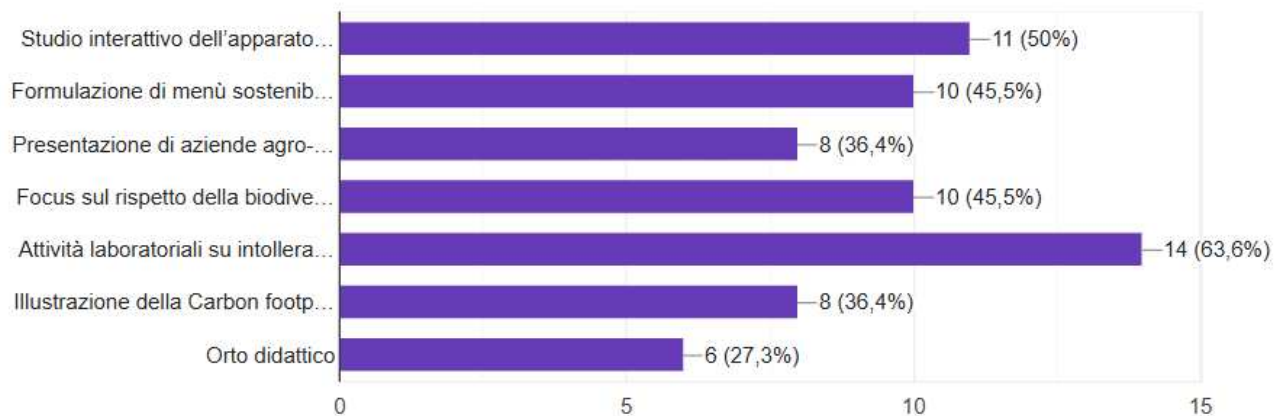


Fig. 4.10 Istogramma relativo alle preferenze dei docenti su attività didattiche relative all'alimentazione sostenibile da implementare in futuro.

11. In relazione alla pianificazione del tempo impiegato per tali attività, sono state indicate varie preferenze tra 1 e 10 ore curricolari. Tra queste il 68% dei docenti vi dedicherebbe tra le 2 e le 4 ore (Fig. 4.11);

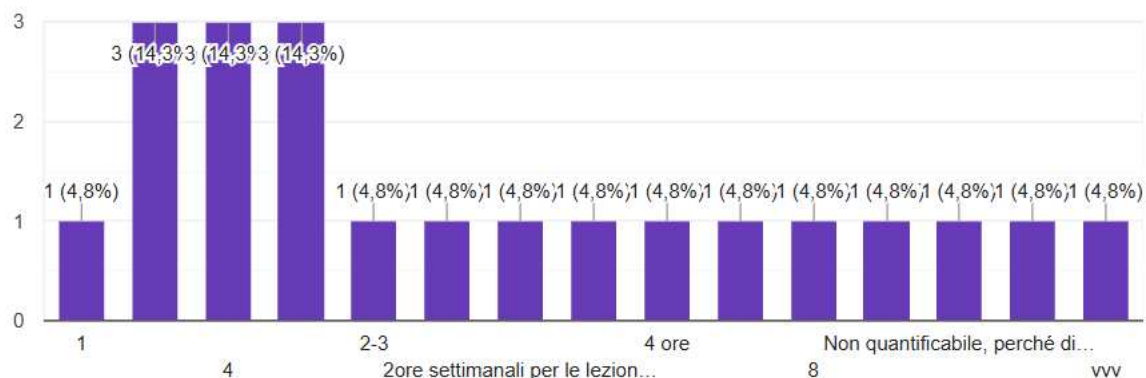


Fig. 4.11: Istogramma che indica in percentuale quante ore i docenti vorrebbero dedicare a un'attività didattica sull'alimentazione sostenibile.

12. Riguardo le modalità di trasmissione e costruzione dei contenuti i docenti hanno scelto in maniera quasi unanime l'attività di laboratorio (95,5%). Altre strategie didattiche ampiamente selezionate risultano uscite didattiche sul territorio e/o ad eventi dedicati, incontri con esperti e lezioni interattive, indicando come l'active e l'outdoor learning siano le metodologie preferite dai docenti (Fig. 4.12);

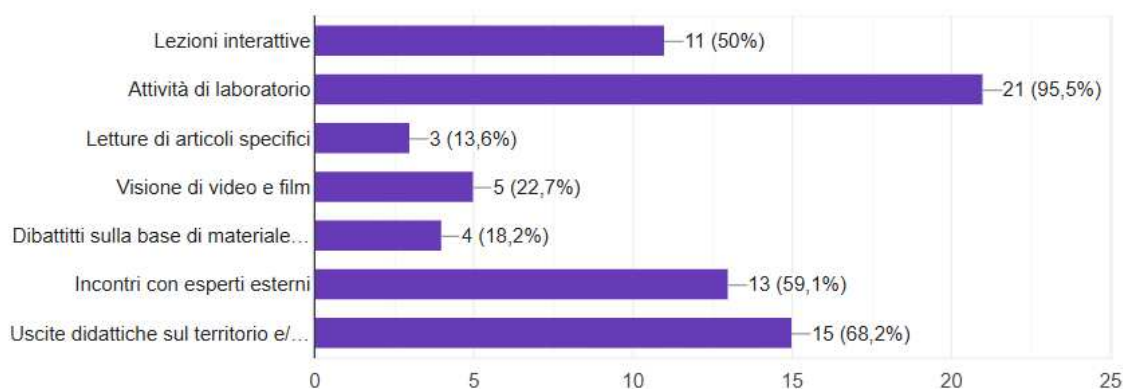


Fig. 4.12 Istogramma che esprime le scelte dei docenti in merito alle tecniche didattiche da utilizzare.

13. In relazione alla propria formazione la maggior parte degli insegnanti preferisce attingere ad articoli scientifici (1'86,4%), a libri di testo (il 72,2%) e a documentari (il 54,5%) (Fig. 4.13);

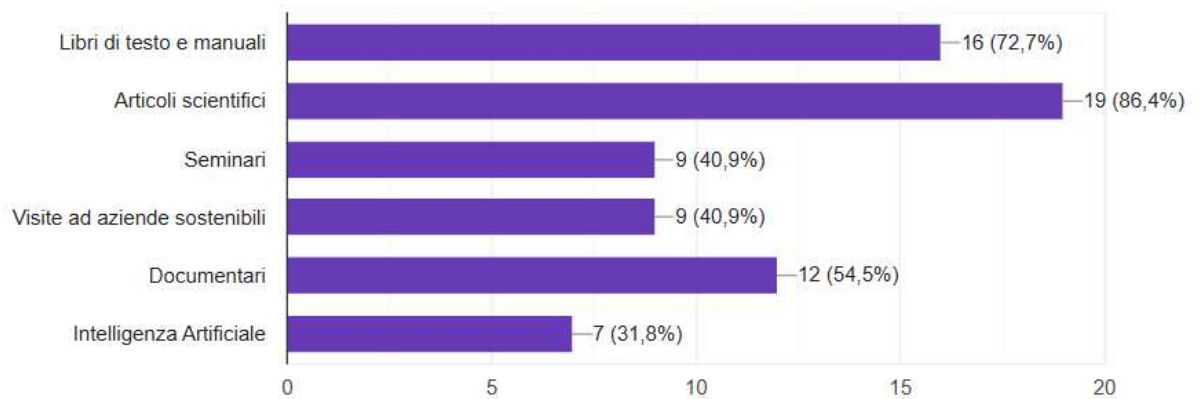


Fig. 4.13 Istogramma che mostra le scelte degli insegnanti sulle fonti relative alla propria formazione nell'ambito dell'alimentazione sostenibile.

14. Alla domanda relativa all'utilità del supporto di un ente esterno per lo svolgimento di specifici protocolli didattici l'81,8% ha risposto in maniera affermativa, il 4,6% in maniera negativa e il 13,6% in via ipotetica (Fig. 4.14).

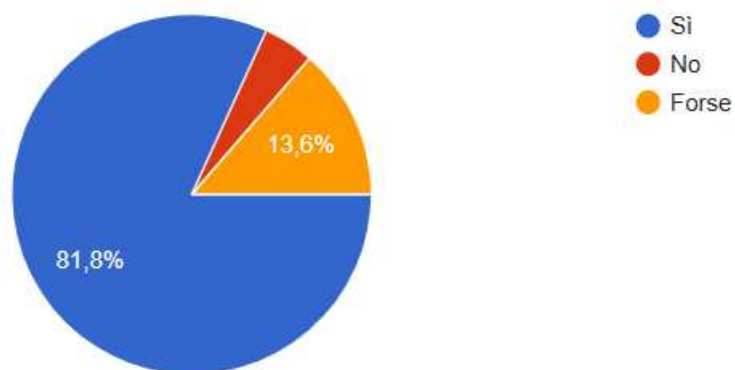


Fig. 4.14: Grafico a torta che mostra le percentuali di docenti che si affiderebbero o meno ad un ente esterno per lo svolgimento di un protocollo didattico sull'alimentazione sostenibile.

Riassumendo brevemente le informazioni raccolte si può affermare che hanno aderito al questionario, in prevalenza, docenti della scuola secondaria di secondo grado che insegnano Scienze naturali, chimiche e biologiche. Gli insegnanti della scuola secondaria di primo grado che hanno partecipato risultano tutti dedicarsi a Matematica e scienze. La maggior parte dei docenti esercita in Emilia-Romagna. La stragrande maggioranza ha già svolto attività didattiche relative all'alimentazione sostenibile e chi invece non vi si è dedicato sarebbe comunque interessato a presentarle principalmente attraverso lezioni in compresenza ad esperti. Le attività didattiche trascorse sono state proposte maggiormente a classi 2^a sia della scuola secondaria di primo che di quella di secondo grado. Sono state dedicate una media di 4,7 ore con deviazione standard di $\pm 1,96$ a tali attività, principalmente svoltesi nella forma di lezioni partecipate e attività laboratoriali. Gli argomenti trattati maggiormente scelti sono stati principi di un'alimentazione sana e sostenibile, buone norme per ridurre gli sprechi e l'inquinamento legato all'alimentazione e il legame tra le nostre abitudini alimentari e i cambiamenti climatici globali. In relazione alla progettazione di attività future la maggioranza dei docenti ha affermato che dedicherebbe ad esse una media di 4,8 ore con deviazione standard di $\pm 2,87$, preferendo come modalità laboratori, incontri con esperti ed uscite didattiche. Le tematiche più optate sono state attività di laboratorio relative ad allergie, intolleranze e malattie alimentari, laboratori sull'apparato digerente e l'assimilazione dei nutrienti, la formulazione di menù sostenibili e il focus sulla biodiversità e il benessere animale. I docenti hanno affermato di formarsi principalmente attraverso manuali e articoli scientifici. Infine, la stragrande maggioranza di essi riterrebbe utile l'appoggio di un ente esterno per lo svolgimento di attività su queste tematiche.

Sulla base dei dati raccolti è stata elaborata la seguente tabella di contingenza con il fine di collegare le scelte optate per l'implementazione di attività didattiche e il grado di insegnamento

dei docenti (Tab. 4.1). Questo può permettere di creare attività diversificate e su misura per la scuola secondaria di primo e secondo grado.

Attività didattica	Scuola secondaria di primo grado	Scuola secondaria di secondo grado
Studio interattivo dell'apparato digerente e dell'assimilazione dei macro/micronutrienti	4	7
Formulazione di menù sostenibili	4	7
Presentazione di azione agro-zootecniche sostenibili e locali	3	5
Focus sul rispetto della biodiversità e sul benessere animale	4	7
Attività laboratoriali su intolleranze e allergie alimentari e su malattie legate all'alimentazione come il diabete	3	11
Illustrazione della Carbon footprint e calcolo del proprio impatto sull'ambiente attraverso le nostre scelte alimentari	3	5
Orto didattico	4	3

Tab 4.1 Relazione tra le preferenze per attività didattiche future e grado di insegnamento dei docenti.

Alla luce dei dati riportati nella tabella, si può desumere che nel contesto della scuola secondaria di primo grado i docenti non abbiano espresso una preferenza netta su una tematica in particolare, avendo indicato in modo similmente ripartito le opzioni di progettare attività sullo studio dell'apparato digerente, sulla formulazione di menù sostenibili, sul rispetto della

biodiversità e del benessere animale e sull'orto didattico (sono state espresse 4 preferenze per tutte queste attività). Invece, nel contesto della scuola secondaria di secondo grado si opterebbe per attività laboratoriali riguardo allergie, intolleranze e malattie legate all'alimentazione (11 preferenze), lo studio dell'apparato digerente, la formulazione di menù sostenibili e il focus sulla biodiversità e il benessere animale (7 preferenze per tutte e tre). In base a tali risultati si è scelto di elaborare per la scuola secondaria di primo grado un protocollo sulla formulazione di menù sostenibili e sullo studio dell'apparato digerente e per la scuola secondaria di secondo grado un laboratorio incentrato sulla celiachia e uno sui processi biochimici legati alla digestione. Vengono inoltre presentati ulteriori protocolli didattici nella sezione 3.4 che soddisfano le rimanenti preferenze espresse e possono essere svolti, con adeguati accorgimenti, sia nella scuola secondaria di primo che in quella di secondo grado.

3.2 Protocolli didattici per la scuola secondaria di primo grado

a. Menù sostenibili: come influenzano la carbon e la water footprint le nostre scelte alimentari?

In seguito alle preferenze riguardo i protocolli da svolgere incentrati sull'alimentazione e la sostenibilità da parte dei docenti che esercitano nelle scuole secondarie di primo grado si è scelto di presentare un'attività sulla formulazione di menù sostenibili. Tale esperienza necessita di quattro ore: la prima è spesa per l'introduzione teorica, le due centrali per lo svolgimento dell'attività da parte degli studenti divisi in gruppi cooperativi e l'ultima per la restituzione da parte di essi. A seconda del livello di approfondimento e della difficoltà dell'attività da svolgere da parte degli studenti la presente esperienza può essere proposta anche alla scuola secondaria di secondo grado. Durante l'introduzione bisogna richiamare importanti argomenti funzionali

all'attività: water e carbon footprint e i principi della dieta mediterranea confrontata con la Western diet. Come descritto nella sezione 1.2 della presente tesi, il concetto di impronta ecologica mira a misurare l'impatto che l'uomo ha sull'ambiente attraverso il suo stile di vita e le sue attività produttive. In particolare, vengono utilizzate due impronte per quantificare l'impatto antropico: l'impronta di carbonio e l'impronta idrica. L'impronta di carbonio misura la quantità totale di gas serra emessi nell'atmosfera a causa delle attività umane, espressa in tonnellate di CO₂ equivalente. Nel dettaglio rappresenta il contributo di un individuo, un'azienda, un prodotto o un Paese al riscaldamento globale, considerando tutti i gas serra principali: anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), monossido di diazoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) e esafluoruro di zolfo (SF₆) secondo il Protocollo di Kyoto del 1997. La produzione alimentare è responsabile di circa 1/3 delle emissioni totali, il che equivale a circa 14,5 Gt CO₂ emesse in un anno [17, 18] (Fig. 4.15).

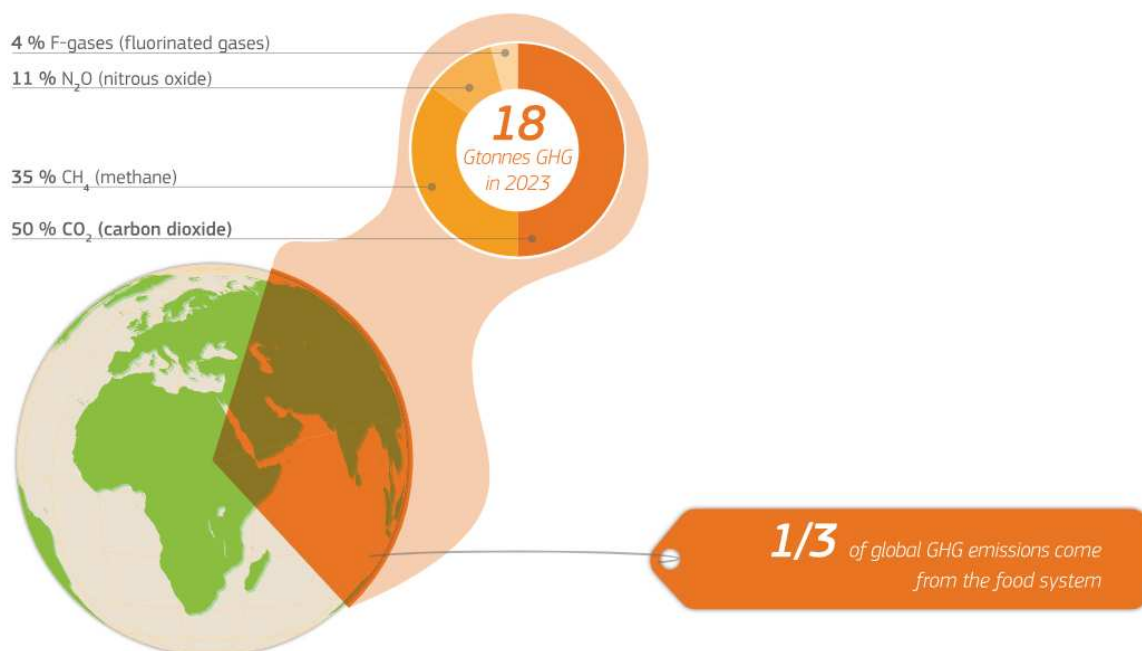


Fig. 4.15: Schema che illustra le emissioni di gas serra causate dal sistema di produzione alimentare [18].

Le fonti principali riguardo questo tema è il database della Commissione Europea EDGAR - FOOD (Emission Database for Global Atmospheric Emissions) [18], basato sui dati scientifici di Crippa *et al.* [17] e il database della FAO (Food and Agricultural Organization) sugli indicatori di emissioni [19]. Utilizzando quest'ultimo strumento è possibile risalire alle emissioni di gas serra annuale per ogni Paese relativamente alla produzione di grano, per le coltivazioni agricole totali, per l'allevamento e per lo spreco alimentare per capita e per ettaro di terra dedicata all'agricoltura. Ad esempio, nel 2023 in Italia sono state emesse 1,74 t di CO₂ eq/cap per la produzione agricola, 0,41 t per l'allevamento e 0,21 t per lo spreco alimentare [19]. L'impronta di carbonio in campo alimentare viene calcolata basandosi sui sei passaggi che coinvolgono la produzione e il consumo alimentare: la cosiddetta filiera, che rappresenta il percorso che un prodotto alimentare compie partendo dalla produzione delle materie prime fino al consumo finale. Questo processo include diverse fasi, come la coltivazione, la raccolta, la trasformazione, la distribuzione, la vendita e la fine della vita del prodotto che include, purtroppo, anche il suo spreco. Secondo i dati EDGAR -FOOD del 2023 le emissioni di gas serra nei vari passaggi della filiera alimentare possono essere così quantificate per un totale di 18 Gt di CO₂ emessa annualmente (Fig. 4.16):

1. Utilizzo della terra per l'agricoltura: il 30% delle emissioni totali;
2. Produzione degli alimenti: il 35%;
3. Lavorazione: circa il 5%;
4. Distribuzione (packaging, trasporto e stoccaggio): circa il 16%;
5. Consumo: circa il 2,5%;
6. Scarti e rifiuti: il 5%.

Tali dati coinvolgono tutti e quattro i settori che implicano emissioni di gas serra: l'utilizzo di terra per l'agricoltura e l'allevamento, la produzione di energia necessaria dalla produzione al trasporto degli alimenti, l'attività industriale per la produzione e il packaging e il trattamento

dei rifiuti generati. Ognuno di noi, nel proprio piccolo, ha un'impronta sull'ambiente con il proprio stile di vita e le proprie scelte alimentari. Si possono usare utili calcolatori per imparare a scegliere le alternative alimentari più ecologiche e rendersi conto di come piccole variazioni nella propria dieta possano aiutare a rendere il nostro impatto più sostenibile per l'ambiente [20, 21].

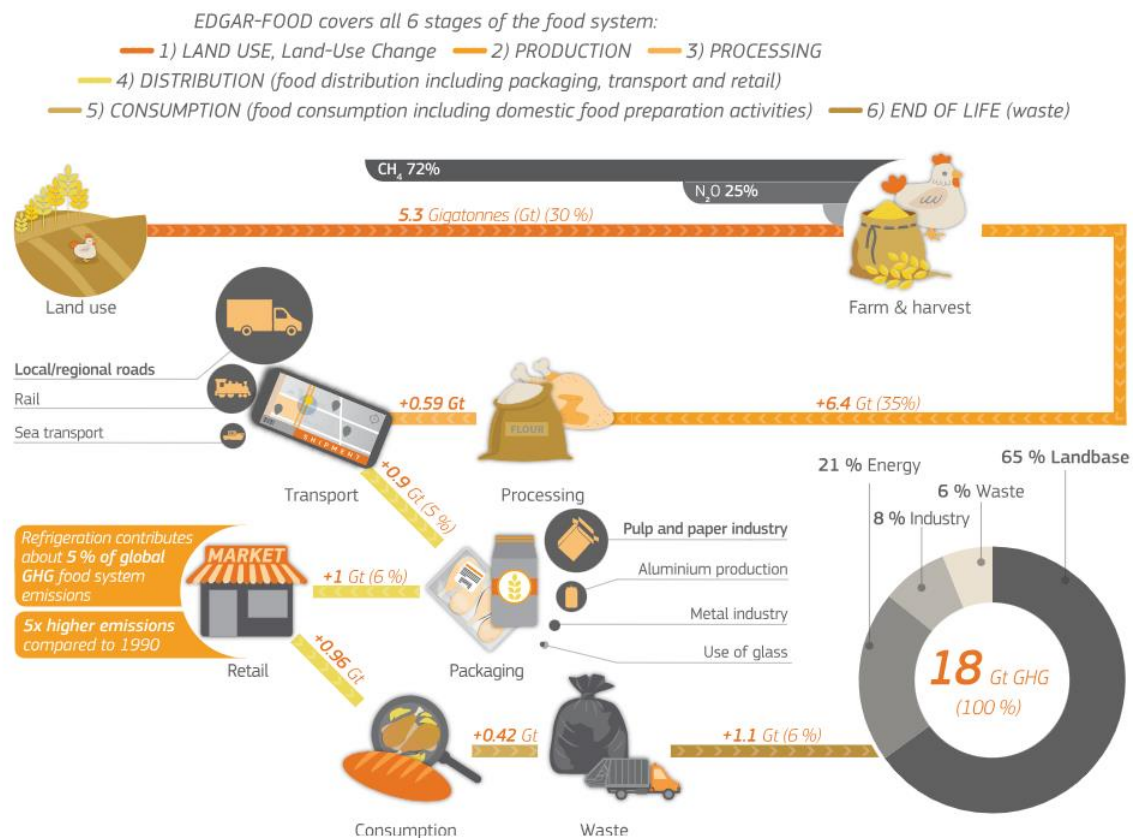


Fig. 4.16: I sei passaggi della filiera alimentare e le emissioni di gas serra coinvolte [18].

La seconda impronta da valutare è quella idrica. Si definisce l'impronta idrica di un individuo, di una comunità, di un'organizzazione o di un sistema produttivo come il volume complessivo di acqua dolce consumata per produrre i beni ed i servizi utilizzati. Il consumo di acqua si calcola come volume di acqua evaporata e/o inquinata in una singola unità di tempo. L'impronta idrica può essere calcolata per qualsiasi gruppo definito di consumatori (individui,

famiglie, centri abitati, regioni, Paesi) o produttori (organizzazioni pubbliche, industrie e settori economici), per un singolo processo (ad esempio la coltivazione del grano) o per ogni prodotto o servizio. Può essere inoltre discriminato l'uso diretto dell'acqua (ad esempio l'uso domestico) da quello indiretto (l'acqua utilizzata per la produzione industriale e agricola) [22, 23]. L'impronta idrica tiene conto di tre diversi fonti e utilizzi dell'acqua, così suddivisi:

1. Acqua verde: si riferisce al consumo di acqua piovana e acqua immagazzinata nel suolo, utilizzata dalle piante e dai processi agricoli;
2. Acqua blu: indica il volume di acqua dolce prelevato dalle acque superficiali e sotterranee, utilizzato in settori agricoli, industriali e domestici;
3. Acqua grigia: si riferisce all'inquinamento e al volume di acqua dolce necessario per diluire gli inquinanti, mantenendo la qualità dell'acqua.

Sulla base di queste componenti sono stati elaborati degli indicatori di sostenibilità ambientali per le acque blu, verdi e grigie (che indicano la disponibilità delle prime due e l'inquinamento della terza), di sostenibilità sociale (che comporta una distribuzione equa di acqua per tutta la popolazione) e di sostenibilità economica (che valuta l'efficienza dell'utilizzo delle risorse idriche) [22] (Fig. 4.17).

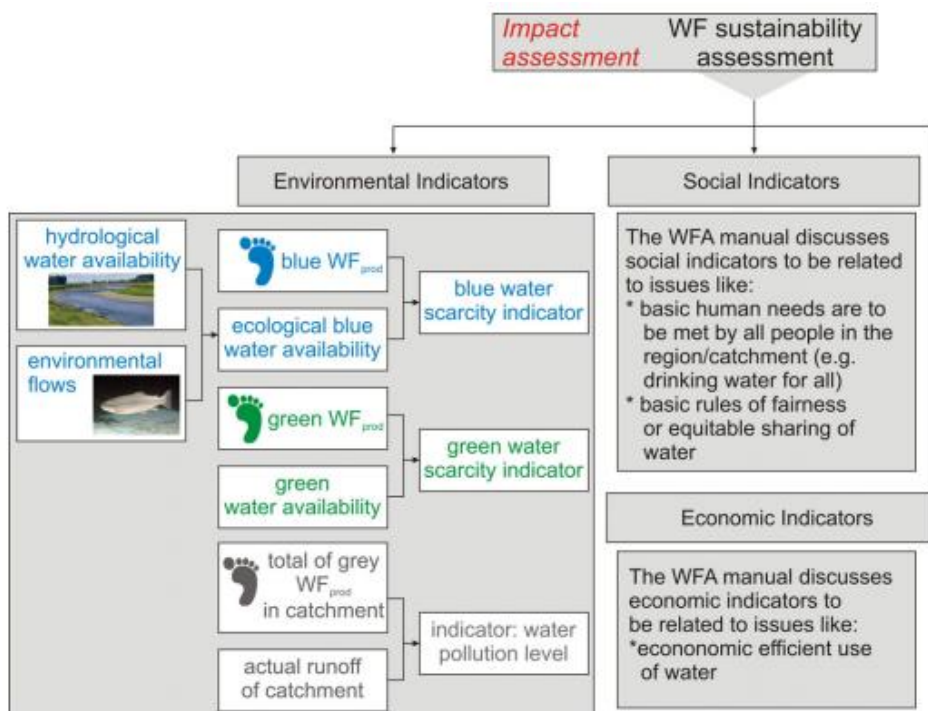


Fig. 4.17: Indicatori ambientali, sociali ed economici della Water Footprint [22].

Secondo i dati raccolti per l'EU28 (l'allargamento dell'Unione Europea avvenuta nel 2013 con l'ingresso della Croazia) l'Europa consuma 857 km³ di acqua all'anno e ne produce 609. Questo la rende un netto importatore virtuale di acqua. Il 91% dell'acqua prodotta viene utilizzata in campo agricolo e l'89% dell'acqua consumata è attribuibile al medesimo settore [23]. In Italia, secondo i dati AQUASTAT della FAO [23], nel 2022 sono stati utilizzati 17 km³ di acqua per capita per la produzione agricola, 7,7 per quella industriale e 9,15 per le attività domestiche. Per alleggerire questo enorme consumo risulta necessario utilizzare tecnologie innovative nella produzione primaria e ognuno di noi è chiamato a modificare anche le proprie abitudini alimentari verso scelte più sostenibili. Come già illustrato nella sezione 1.2 del presente lavoro di tesi, un minore consumo di carne, specialmente bovina, e l'adozione di una dieta tradizionale mediterranea può sensibilmente ridurre il proprio impatto ambientale (Fig.

4.18). Utili calcolatori ci indicano chiaramente la quantità di acqua necessaria per ogni cibo che consumiamo [20, 21, 24].

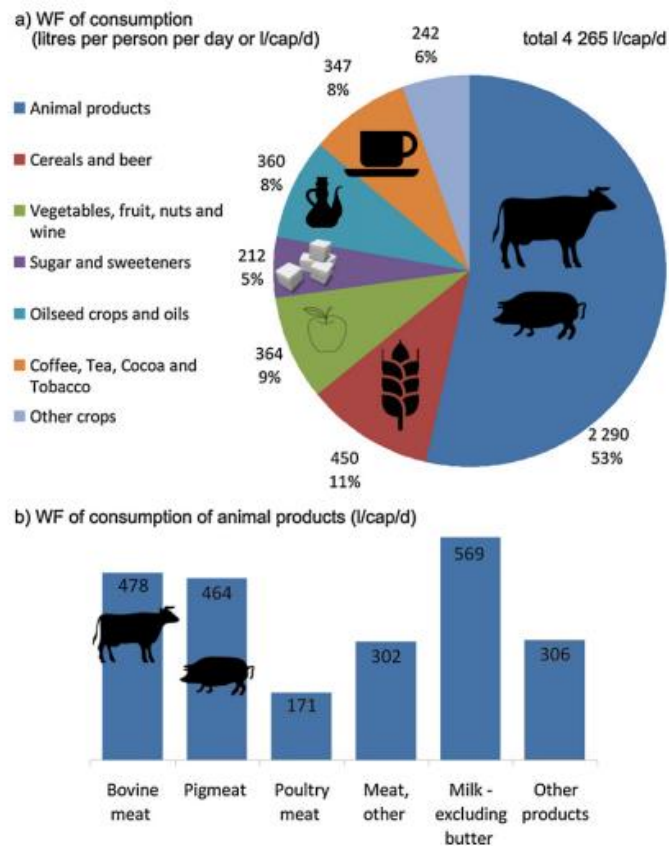


Fig. 4.18: a) Water Footprint relativa al consumo di acqua per la produzione agricola di varie colture in L per capita al giorno; b) WF relativa al consumo di carne di diverse specie animali e prodotti di derivazione animale in L/cap/d [23].

Una volta chiarito come la carbon e la water footprint permettano di valutare anche l'impatto delle scelte alimentari di ciascuno di noi può cominciare l'attività di laboratorio. La classe viene suddivisa in gruppi e a ciascuno di essi viene affidato il compito di elaborare un pasto sostenibile basato sulla dieta mediterranea e uno poco sostenibile basato sulla Western diet. Gli studenti sono chiamati a calcolare l'impronta di carbonio e l'impronta idrica di ogni alimento

e bevanda scelti per i menù attraverso gli appositi calcolatori e, alla fine, mostrare la somma totale per i due differenti pasti. Come primo passo viene mostrato agli studenti come utilizzare i diversi calcolatori per rendersi conto delle differenti impronte ecologiche degli alimenti. Il Carrello della spesa del WWF [21] ci permette di calcolare in maniera coinvolgente la carbon e water footprint di diversi alimenti che compriamo al supermercato aggiungendoli al nostro carrello virtuale (Fig 4.19 a). Il sito Our World in Data [20] permette di creare chiari grafici che mostrano l'impronta idrica e di carbonio di tutti gli alimenti che desideriamo selezionare (per kg o L) (Fig. 4.19 b). Il sito Water Footprint Calculator [24] mostra una vasta gamma di alimenti con relativa impronta idrica già calcolata per porzioni di 4 once (113,4 g).

a)



b)

Greenhouse gas emissions per kilogram of food product



Greenhouse gas emissions are measured in kilograms of carbon dioxide-equivalents. This means non-CO₂ gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale.

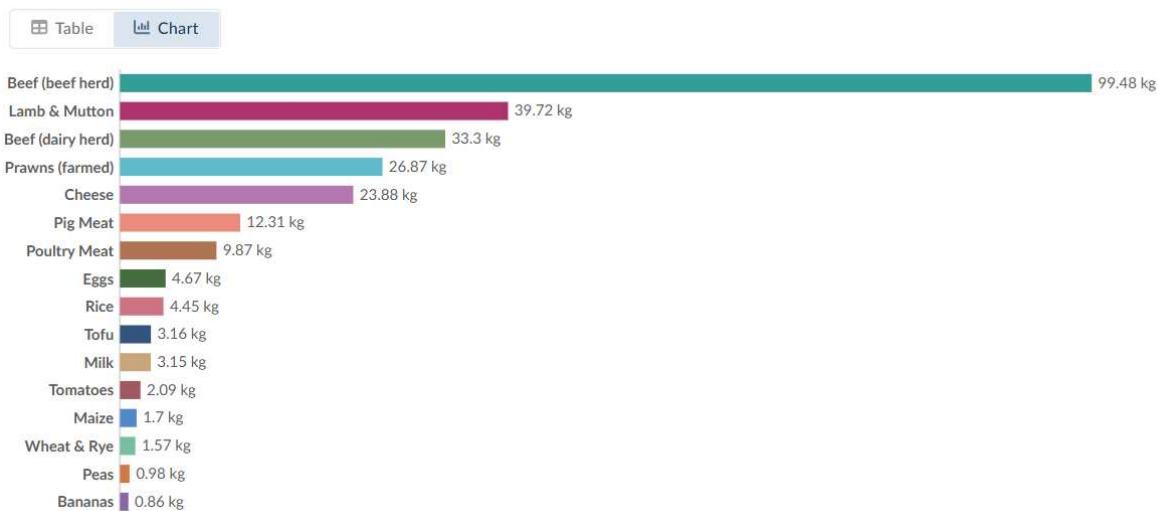


Fig. 4.19: a) Esempio di carrello della spesa del WWF con i valori di carbon e water footprint relativi alla spesa effettuata [21]; Emissioni di gas serra per kg di alimento selezionato nel database di Our World in Data [20].

Successivamente, gli studenti vengono aiutati a concretizzare la scelta degli alimenti per i due pasti e a calcolare i differenti impatti per porzioni. Vengono di seguito riportati due esempi per un pasto che segua i principi della dieta mediterranea (una pasta al pomodoro e zucchine condita con olio e parmigiano, con acqua e frutta) (Tab. 4.2 a) e uno della Western diet (un hamburger bovino con patatine fritte, succo di frutta e merendina dolce) (Tab. 4.2 b).

Dieta mediterranea	Carbon Footprint (CO ₂ kg eq.)	Water Footprint (L)
Alimento/ Bevanda		
Pasta (150 g)	0,288	288,9
Zucchine (100 g)	0,034	32,4
Olio d'oliva (10 g)	0,024	133,53
Passata di pomodoro (50 g)	0,075	10,3
Parmigiano Reggiano (10 g)	0,029	50,65

Acqua naturale (200 mL)	0,024	1,333
Susine (100 g)	0,032	120,2
Totale	0,506	637,313

a)

Western diet	Carbon Footprint (CO ₂ kg eq.)	Water Footprint (L)
Alimento/ Bevanda		
Carne bovina (150 g)	0,948	2325,3
Patate (100 g)	0,01	14,4
Olio di semi (100 mL)	0,228	423,4
Pane (100 g)	0,099	139
Succo di frutta (200 mL)	0,096	176,266
Merendine (100 g)	0,232	28
Totale	1,618	3115,366

b)

Tab. 4.2: Carbon e water footprint calcolate per un pasto basato sulla dieta mediterranea (a) e uno sulla Western diet (b).

Come si può evincere dai valori della carbon e water footprint calcolati in tabella, adottare una dieta mediterranea può ridurre sensibilmente il nostro impatto ambientale: l'impronta di carbonio del pasto mediterraneo risulta 0,506 kg CO₂ eq. contro i 1,618 del pasto della Western diet e mentre l'impronta idrica del primo è 637,313 L, quella del secondo risulta 3115,366. L'ultima ora dell'attività è funzionale alla presentazione da parte dei gruppi dei pasti da loro elaborati con relativa discussione dei risultati ottenuti in merito di impronta ambientale.

b. Fabbisogno energetico e dieta equilibrata su misura

Un interessante sviluppo dell'attività appena descritta può essere lo studio di menù sani e bilanciati in base all'apporto di macronutrienti (vedi sezione 1.1 e 1.3) e al fabbisogno calorico. L'esperienza può essere sviluppata in quattro ore secondo la scansione già descritta

(introduzione, attività e restituzione). La consegna da svolgere in gruppi cooperativi consiste nell'elaborare i pasti di una giornata, sani e sostenibili, per persone con esigenze diverse utilizzando gli appositi database e tabelle. Il fabbisogno energetico totale è la quantità di energia alimentare necessaria a compensare il dispendio energetico e a mantenere un buono stato di salute e di attività fisica [2, 13]. Consiste nel risultato della somma dei dispendi energetici dei seguenti componenti:

1. Metabolismo basale (60-75%): rappresenta la quantità di energia minima per mantenere le funzioni vitali dell'organismo e dipende da età, sesso, attività fisica, composizione e temperatura corporea;
2. Termogenesi indotta dalla dieta (7-15%): è la spesa energetica sostenuta dall'organismo in risposta all'assunzione degli alimenti correlata al loro metabolismo;
3. Costo energetico dell'attività fisica (15-30%): dipende dal tipo, frequenza e intensità dell'attività;
4. Termoregolazione (5-10%): è l'insieme delle funzioni che permettono all'organismo di mantenere una temperatura costante attraverso la vasodilatazione e sudorazione e la vasocostrizione.

Una semplice formula che gli studenti possono applicare per calcolare il fabbisogno energetico totale è quella proposta dalla FAO-WHO, moltiplicando il metabolismo basale per il livello di attività fisica basandosi su specifiche tabelle [2] (Fig. 4.20).

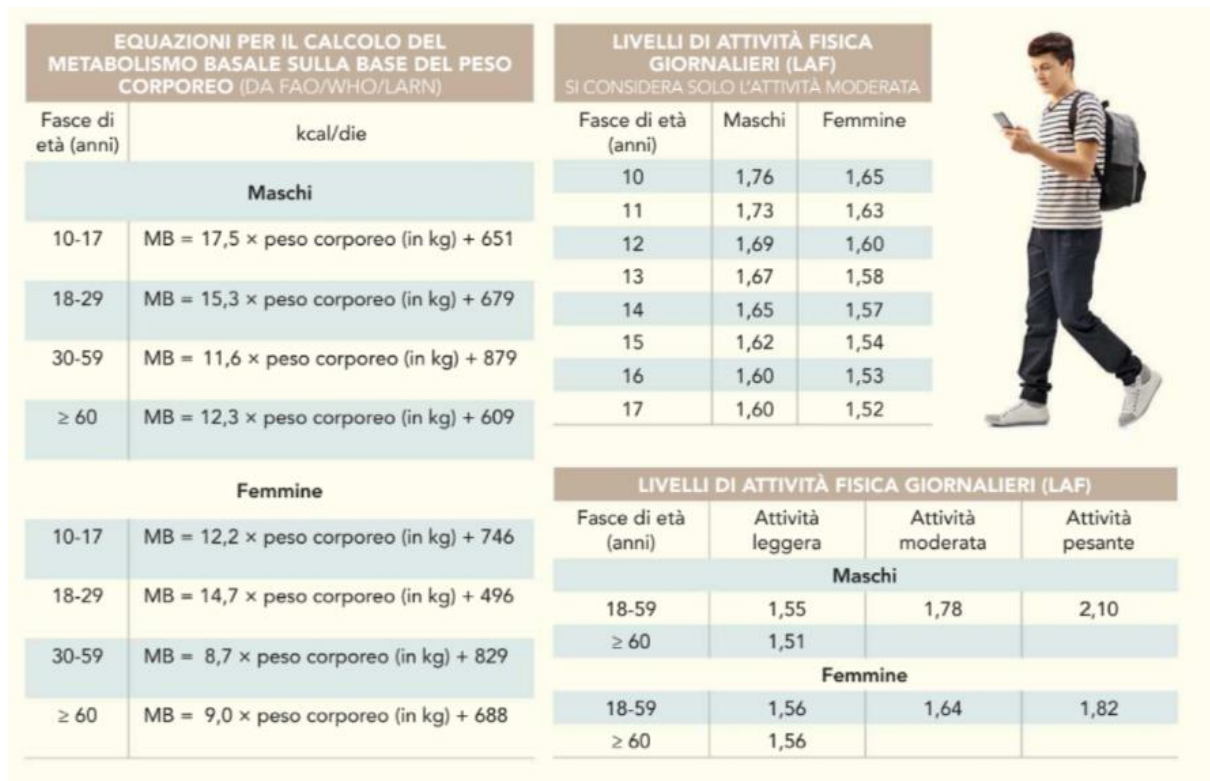


Fig. 4.20: Tabelle utilizzate per il calcolo del fabbisogno energetico totale che riportano i valori del metabolismo basale e di attività fisica per età e sesso [2].

Ad esempio un ragazzo di 15 anni del peso di 60 kg che svolge un'attività fisica moderata si calcola nel seguente modo [2]:

$$\text{Fabbisogno energetico totale} = [(17,5 \times 60) + 651] \times 1,62 = 2775,6 \text{ kcal}$$

Una volta svolto questo calcolo per i diversi casi di studio assegnati, gli studenti possono elaborare i pasti di una giornata che seguano i principi della dieta mediterranea, il corretto apporto dei vari macronutrienti, di liquidi e calorie. I valori nutrizionali degli alimenti possono essere facilmente reperiti su specifici database [10] o attraverso lo studio delle etichette dei prodotti.

c. L'apparato digerente e il processo digestivo: cosa succede al cibo che mangiamo?

Basandosi sulle scelte opzionate dai docenti, viene di seguito proposta una semplice e chiara attività di laboratorio sull'apparato digerente (descritto nella sezione 1.4 del presente lavoro di tesi) [2, 13]. Il laboratorio mira a far comprendere agli studenti cosa accade al cibo nei vari organi dell'apparato digerente mediante la simulazione dei vari processi da essi operati. Tale attività necessita tre ore per il suo svolgimento: una per l'introduzione teorica, la seconda per l'esperienza e la terza per la restituzione da parte degli studenti. La classe viene suddivisa in gruppi a cui vengono assegnati tre becher per simulare la digestione del cibo in bocca, nello stomaco e nell'intestino [25]:

1. Bocca: nel primo becher si mette un cracker, lo si tritura simulando l'azione dei denti e si aggiunge un cucchiaino d'acqua per impastarlo come fa la saliva fino a formare un impasto simile al bolo (Fig. 4.21 a);
2. Stomaco: si pone il bolo nel secondo becher aggiungendo aceto per simulare l'azione dell'acido cloridrico nello stomaco, che digerisce il bolo fino a renderlo chimo. Può risultare interessante testare il pH con una cartina tornasole per verificare l'acidità della miscela e mostrare cosa, in un altro becher, come flocculano le proteine del latte se mescolate con l'aceto (Fig. 4. 21 b);
3. Intestino: si versa il "chimo" ottenuto nell'ultimo becher che rappresenta l'intestino tenue. Il chimo viene ulteriormente digerito e trasformato in chilo mediante l'azione della bile prodotta dal fegato e riversata nel duodeno dalla cistifellea e dai succhi pancreatici. Si simula in un piccolo becher l'azione della bile, formata da acidi biliari anfoteri che operano come tensioattivi, aggiungendo ad acqua e olio qualche goccia di detersivo che permette a queste due sostanze di formare un'emulsione. Tale procedimento permette di comprendere come vengano emulsionati i grassi nel duodeno dalla bile, rendendoli più digeribili dai succhi pancreatici. L'azione del pancreas viene

simulata mediante il bicarbonato di sodio, il cui pH basico neutralizza l'acido cloridrico dello stomaco e attiva gli enzimi digestivi pancreatici. Si aggiunge dunque al becher contenente il chimo una soluzione acquosa di bicarbonato e qualche goccia di detersivo, capace di simulare la trasformazione del chimo in chilo. Si testa anche in questo caso il pH con apposita cartina (Fig. 4.21 c).

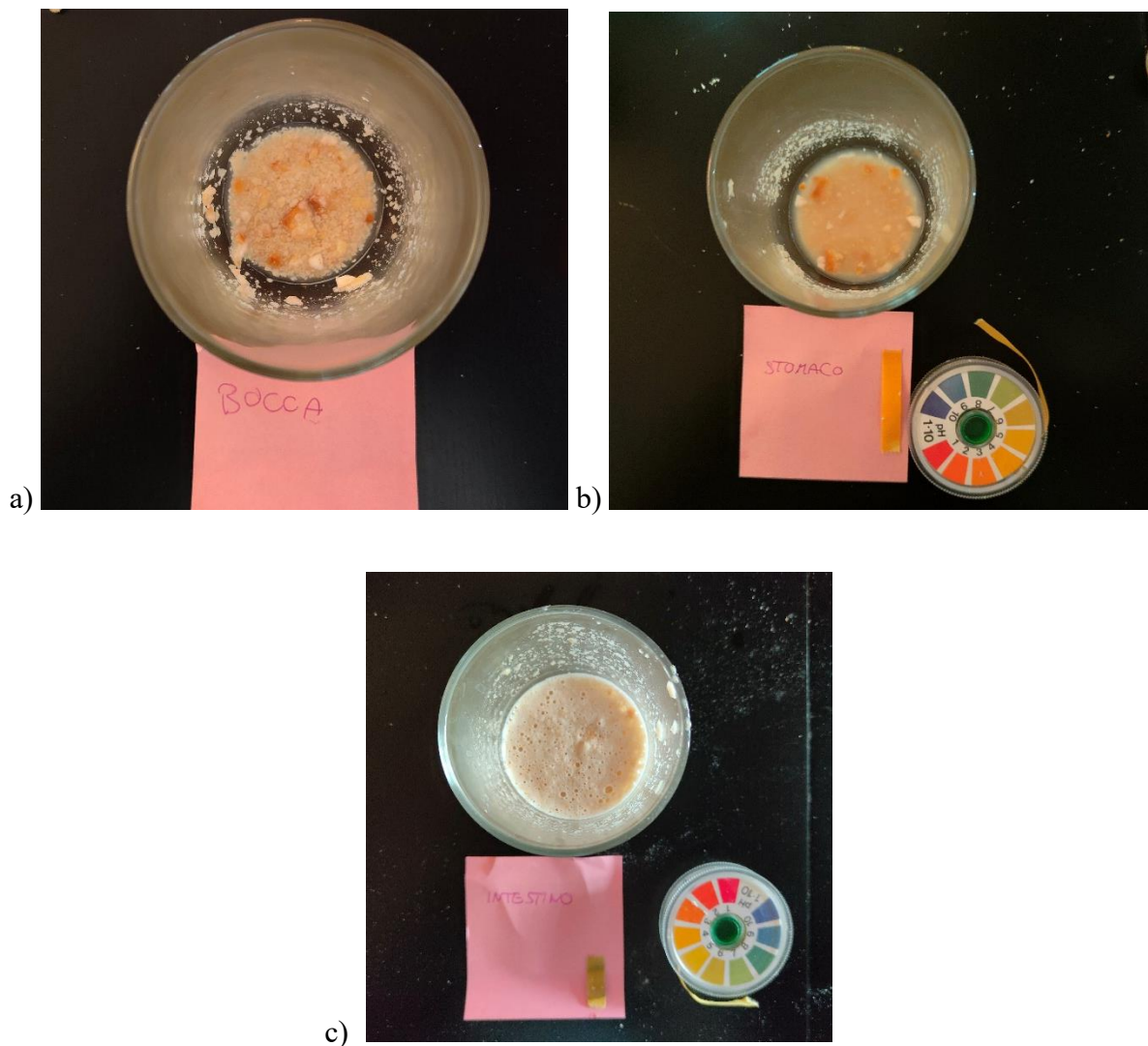


Fig. 4.21: a) Simulazione della formazione del bolo in bocca; b) Il bolo si trasforma in chimo, processo simulato dall'azione dell'aceto; c) Il chimo diventa chilo nel duodeno, emulsionato dai sali biliari e digerito dai succhi pancreatici basici.

Per terminare si filtra il contenuto di quest'ultimo becher: il filtrato rappresenta i nutrienti assorbiti dai villi intestinali e l'acqua recuperata attraverso le pareti dell'intestino crasso mentre ciò che rimane sul filtro simula gli scarti che vengono poi espulsi sotto forma di feci. Gli studenti sono chiamati a documentare l'intera esperienza attraverso appunti e disegni. Nell'ultima ora dell'attività ogni gruppo presenta i propri risultati creando un momento di confronto con il docente ed i propri compagni.

3.3 Protocolli didattici per il primo biennio della scuola secondaria di secondo grado

d. La celiachia e la gluten-sensitivity: impariamo a conoscere il glutine

Data la grande preferenza dimostrata nel sondaggio per attività di laboratorio su allergie, intolleranze e malattie alimentari viene di seguito illustrato un protocollo didattico incentrato sulla celiachia. L'attività, rivolta a studenti della scuola di secondo grado, comporta una durata di quattro ore: una di presentazione teorica, due per le esperienze pratiche e un'ora per la fase di restituzione degli studenti. Si comincia ad illustrare il background teorico necessario per affrontare l'attività attraverso una lezione partecipata, coinvolgendo la classe nella costruzione delle conoscenze. La celiachia è un'enteropatia infiammatoria cronica, con tratti di autoimmunità e interessamento sistemico, scatenata dall'ingestione di glutine in soggetti geneticamente predisposti. Causa una risposta infiammatoria permanente grave a livello della mucosa dell'intestino tenue, che determina l'atrofizzazione dei villi intestinali, necessari per l'assorbimento dei nutrienti e l'infiltrazione di linfociti nella stessa mucosa (Fig. 4.22). La celiachia venne nominata per la prima volta da Areto di Cappadocia, che nel 250 d.C., scriveva dei *koiliakos*, "coloro che soffrono negli intestini". Nel 1856 Francis Adams tradusse questo termine dal greco all'inglese, coniando l'espressione "celiaci". Pochi anni dopo, nel 1888,

Samuel Gee descrisse i sintomi dettagliati di questa condizione sia negli adulti che nei bambini, affermando che l'unico trattamento consistesse in una dieta adeguata, identificata erroneamente in patate, banane e frumento. Solo nel 1945 il pediatra olandese Willem Karel Dicke identificò nella farina di frumento come l'alimento responsabile dei sintomi nei bambini celiaci. Dicke osservò che in seguito alla carestia che colpì l'Europa settentrionale durante la II guerra mondiale e la conseguente eliminazione forzata del glutine della dieta, i bambini celiaci presentarono un improvviso miglioramento dei sintomi. Alla fine della guerra arrivarono gli aiuti alimentari in Olanda, che consistevano prevalentemente in pane e pasta, e i bambini affetti da celiachia ripresentarono in breve tempo i sintomi gastro-intestinali tipici. Se non è diagnosticata tempestivamente e trattata attraverso una dieta gluten-free, la celiachia può sviluppare importanti complicanze, irreversibili e resistenti al trattamento dietetico, come lo sviluppo di cellule tumorali. I sintomi con cui la celiachia si manifesta sono estremamente variabili, sia per gravità che per gli organi e sistemi dell'organismo colpiti. Nella sua forma classica si presenta con diarrea, gonfiore addominale, dolori addominali, perdita di peso, malassorbimento intestinale e rallentamento della crescita nei bambini. Può, tuttavia, manifestarsi in forma silente (assenza di sintomi), in forma potenziale (screening positivo ma mucosa duodenale normale) o in forma atipica con svariati sintomi (ad esempio ulcere, alopecia e infertilità). Alcuni pazienti sviluppano la dermatite erpetiforme, una malattia della pelle, caratterizzata da un'eruzione di vescicole e bolle che provocano un intenso prurito nella regione lombare, ai gomiti e alle ginocchia. È chiamata la celiachia cutanea o della pelle perché il glutine, invece di provocare un'inflammatione a livello della mucosa intestinale, determina una reazione infiammatoria a livello della cute [26, 27, 28].

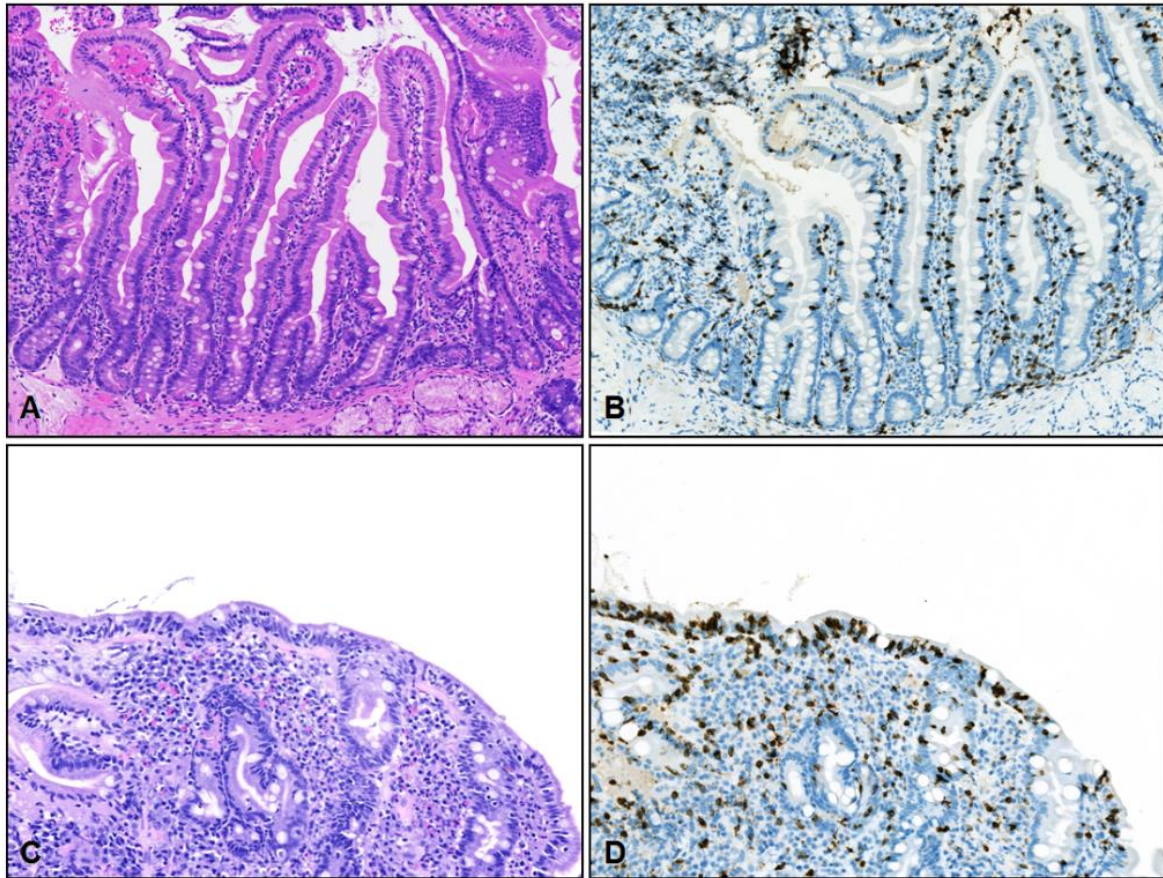


Fig. 4.22: A, B) Mucosa duodenale normale con architettura dei villi conservata e scarso infiltrato linfocitario; C, D) Mucosa duodenale di un paziente celiaco, totalmente appianata dalla perdita dei villi e interessata da un importante infiltrato linfocitario (<https://multimedica.it/news/villi-atrofizzati-celiachia-lascia-segno/>).

Il glutine è la frazione proteica insolubile in acqua e parzialmente solubile in alcol di cereali come grano, orzo e segale (*Triticum sp.*, *Hordeum vulgare* e *Secale cereale* della famiglia delle Poaceae). Le frazioni, le componenti meglio caratterizzate di questo insieme di proteine, sono due: una prolamina (proteine esclusivamente vegetali, prive di lisina e ricche di prolina, glutamina e acido glutammico) nota con il nome di gliadina, contenuta nel frumento e responsabile dei principali fenomeni di reazioni avverse nei soli soggetti allergici e una glutelina, la glutenina, presenti principalmente nell'endosperma della cariosside dei cereali citati. Il sistema immunitario delle persone celiache risponde in maniera violenta alla presenza

di tali peptidi: nella mucosa intestinale si attiva la transglutaminasi A, un enzima che interagisce con la gliadina per la sua digestione, e nei celiaci, tale enzima viene attaccato da anticorpi specifici, anti-transglutaminasi A e G (IgA e IgG). Questa risposta autoimmune causa il rilascio da parte dei linfociti, o cellule T, di citochine (molecole proteiche che danno vari stimoli alle cellule, tra cui l'innesco dell'apoptosi e della differenziazione cellulare). Queste ultime entrano in contatto con i villi dell'intestino tenue e li danneggiano impedendo l'assunzione dei nutrienti con sintomi conseguenti di dolori intestinali, perdita di peso, fatica [27, 28]. La celiachia viene diagnosticata inizialmente attraverso test sierologici: vengono ricercati gli anticorpi IgA e IgG (nel caso in cui ci sia un deficit selettivo delle IgA nel sangue del paziente e nel caso in cui i valori siano elevati rispetto alla norma (maggiori di 20 U/mL) si procede con la biopsia intestinale per l'esame istologico della mucosa [27]. Solamente lo 0,9-1% della popolazione italiana risulta effettivamente celiaco. I restanti casi vengono correlati alla sensibilità al glutine, o gluten-sensitivity, che pur non essendo una malattia genetica autoimmune come la celiachia, porta i pazienti a soffrire a causa una dieta ricca di glutine e a presentare miglioramenti con la riduzione di quest'ultimo. Consiste in una "zona grigia" non rilevabile con i test sierologici e istologici ma da tenere in grande considerazione nell'elaborazione di diete specifiche [27, 28]. Una volta conclusa l'introduzione teorica si può partire con la prima esperienza di laboratorio incentrata su un aspetto molto pratico: come cambia la dieta di una persona a cui viene diagnosticata la celiachia o più semplicemente la sensibilità al glutine? Risulta necessario imparare a distinguere quali farine contengono effettivamente il glutine per eliminarle o limitarle nella propria dieta. Durante l'attività gli studenti sono chiamati a maneggiare diverse farine per valutare l'effettiva presenza del glutine e le sue proprietà. La classe viene suddivisa in gruppi cooperativi da quattro o cinque persone e vengono loro distribuiti alcuni becher con 100 g di diverse farine. La scelta delle farine può essere molto ampia (riso, grano saraceno, grano, grano senza glutine, avena...): nel presente contesto sono state testate la farina di grano

tenero, la farina di grano saraceno, la farina di avena, la farina di castagne e la farina di ceci. Si consegna, inoltre, una bacinella di acqua fredda nella quale gli studenti devono lavare le farine, cambiando l'acqua ad ogni utilizzo. In acqua l'amido si scioglie mentre il glutine, se presente, forma una maglia insolubile. Per ogni farina i partecipanti devono annotare se presente il glutine e in quale quantità. Il grano tenero (*Triticum sp.*) contiene glutine, ben visibile dopo il lavaggio (Fig. 4.23 a, b). Il grano saraceno (*Fagopyrum esculentum*) è uno pseudocereale appartenente alla famiglia delle Polygonaceae che non contiene glutine. L'avena (*Avena sativa*) è un cereale che non contiene glutine ma una proteina chiamata avenina, meno immunogena delle gliadine. Nonostante ciò non si ritiene un alimento adatto ai celiaci poiché può comunque innescare reazioni immunitarie ed essere soggetto a contaminazioni da altre farine. I ceci (*Cicer arietinum*) sono legumi e non contengono glutine, rappresentando così un'ottima alternativa per i celiaci. Le castagne (*Castanea sativa*) non contengono naturalmente glutine, offrendo un'ulteriore alternativa. Successivamente a questa operazione iniziale si va ad indagare la struttura del glutine compiendo l'estrazione da quest'ultimo delle gliadine, solubili in alcol al 60-70% a differenza delle glutenine, insolubili in alcol. La quantità del glutine ottenuto dopo il lavaggio diminuisce sensibilmente, testimoniando l'avvenuta estrazione delle gliadine. La parte solida rimasta consiste invece nelle glutenine, la frazione insolubile (Fig. 4.23 c).

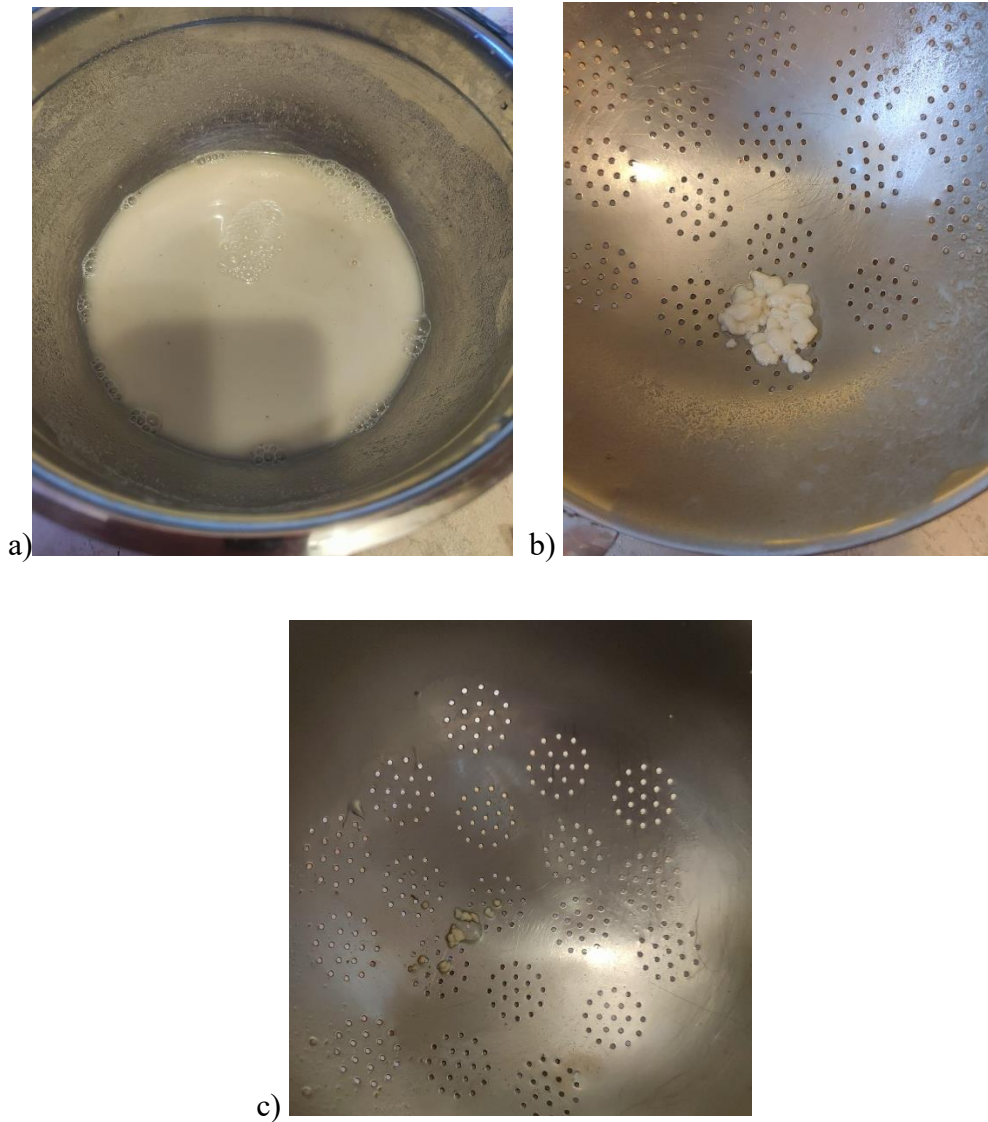


Fig. 4.23: a) Lavaggio della farina di grano tenero; b) Glutine ottenuto; c) Frazione del glutine rimasta dopo il lavaggio con alcol.

Per terminare l'esperienza si effettua un ultimo test sulle farine per valutare la presenza più o meno abbondante di proteine attraverso il test del biuretto. Il biuretto è un'amide che si ottiene mediante la condensazione di due molecole di urea con l'eliminazione di una molecola di ammoniacale. Se il biuretto viene posto in una soluzione alcalina contenente ioni rameici si ha la formazione di un complesso di colore violetto. Questa reazione non è specifica del biuretto: gli ioni rameici in ambiente alcalino reagiscono con qualsiasi composto contenente due o più

gruppi ammidici. La reazione quindi è negativa con gli amminoacidi e con i dipeptidi mentre è positiva con i polipeptidi, partendo dai tripeptidi. L'intensità del colore sviluppato è proporzionale al numero di legami peptidici interessati nella reazione ed è quindi utilizzabile come metodo per la determinazione qualitativa della presenza di proteine [29]. Vengono distribuiti ai gruppi di studenti un portaprovette, sei provette e un becher con solfato rameico (CuSO_4) 1 M e una pipetta Pasteur. Vengono mescolate le farine in acqua nelle Falcon e realizzato il controllo con solo acqua. Si aggiungono 2 mL di idrossido di sodio 0,1 M che permette la denaturazione delle proteine presenti nel campione. A seguire, i ragazzi utilizzano la pipetta Pasteur per aggiungere a ciascun campione 1 mL di solfato rameico e osservano quello che accade. Nella provetta contenente solo acqua permane la colorazione azzurra del solfato di rame, che diventa solo più chiaro a causa della diluizione in acqua, mentre in presenza di proteine si verifica un cambio di colore: il solfato di rame da azzurrino vira a nero-viola. Gli studenti devono annotare l'intensità della variazione di colore per ogni farina, traendo le conclusioni: tutte le farine utilizzate contengono una determinata quantità di proteine che va ricercata nei valori nutrizionali medi per 100 g riportati sull'etichetta. La presenza di proteine non è dunque sempre correlata alla presenza di glutine e farine che ne sono prive possono essere ricche di tali macronutrienti (Fig. 4.24 a). Gli studenti sono chiamati a costruire una tabella riassuntiva che metta in relazione per ogni campione la presenza o meno di glutine, la quantità di proteine per 100 g e l'intensità del viraggio del test del biureto (Tab. 4.3).

	Presenza glutine	Valori nutrizionali medi per 100 g	Intensità viraggio (test biureto)
Farina di grano tenero	Sì	11	Violetto
Farina di grano saraceno	No	9,4	Violetto
Farina di ceci	No	21,8	Violetto scuro

Farina di castagne	No	6,1	Violetto
Farina di avena	No	12	Violetto

Tab. 4.3: Tabella riassuntiva che riporta la presenza o meno di glutine, la quantità totale di proteine su 100 g e l'intensità del viraggio ottenuto per cinque diverse farine.

Il passaggio successivo consiste nel confrontare un campione di farina contenente proteine non scisse e uno con farina digerita dall'enzima pepsina. La scomposizione avviene tenendo la provetta a bagnomaria a 37 °C per un'ora dopo aver aggiunto 5 mL di soluzione di pepsina al 5% e 0,15 mL di HCl 1M. Gli studenti osservano, successivamente, che la miscela nella provetta con le proteine non digerite diventa violetta al test del biureto mentre la seconda, contenente amminoacidi liberi, resta azzurra (Fig. 4.24 b).

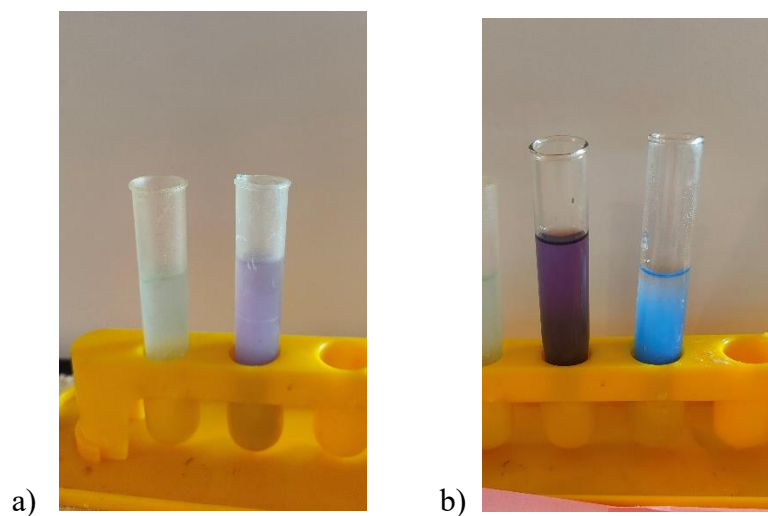


Fig. 4.24: a) Confronto fra la provetta di controllo, a sinistra, di colore azzurro e la provetta contenente farina di grano, a destra, virata al violetto al test del biureto; b) confronto tra una provetta contenente farina di castagne non digerita da pepsina, a sinistra, di colore violetto e una contenente farina digerita, a destra, di colore azzurro al test del biureto.

L'ultima ora dell'attività consiste nella restituzione da parte degli studenti, i quali sono chiamati ad esporre i propri risultati confrontandoli con gli altri gruppi e a presentare una ricetta a base di una delle farine esaminate che possa essere compatibile con la dieta di una persona sensibile al glutine e una affetta da celiachia.

e. La digestione delle proteine nello stomaco: come agisce l'enzima pepsina?

Un altro protocollo che si può presentare in base alle preferenze espresse dai docenti consiste in un'attività di laboratorio sull'apparato digerente incentrata sulla pepsina e la sua funzione. Per il suo svolgimento sono necessarie quattro ore: una di introduzione teorica, due dedicate all'esperienza di laboratorio e l'ultima per la restituzione da parte degli studenti. La pepsina è un enzima proteolitico del succo gastrico. Il pepsinogeno è la forma inattiva, cioè lo zimogeno, elaborato dalle ghiandole piloriche e dalle cellule principali delle ghiandole del fondo dello stomaco. Viene convertito nella sua forma attiva dall'ambiente acido dello stomaco causato dalla presenza dell'acido cloridrico (HCl) prodotto durante la digestione. L'acido cloridrico gastrico opera il distacco dal pepsinogeno di un polipeptide di peso molecolare intorno a 3200 Da, detto inibitore della pepsina, e di cinque peptidi più semplici, di peso molecolare complessivo intorno a 4000 Da, ottenendo così un enzima dal peso molecolare di circa 35.000 Da. La pepsina influenza poi, per autocatalisi, la medesima trasformazione e quindi la propria attivazione: agisce in ambiente estremamente acido, presenta un punto isoelettrico al di sotto di 1 e risulta denaturata a pH neutri e basici. La pepsina è costituita da una singola catena polipeptidica contenente a un'estremità il gruppo ammidico dell'isoleucina e all'altra quello carbossilico della valina. Nella molecola sono presenti alcuni gruppi caratteristici: tre ponti disolfuro, dovuti alla presenza di cisteina e un radicale della fosfoserina. L'enzima scinde determinati legami peptidici ($-CONH-$) delle proteine, liberando complessi miscugli di

polipeptidi [30, 31, 32]. Diversi studi si sono focalizzati sulla misurazione dell'attività della pepsina a seconda di vari parametri come la temperatura o tempo di incubazione, il substrato proteico da digerire, il pH, il tempo di digestione e la presenza di sali. Le condizioni ottimali per permettere alla pepsina di svolgere le proprie funzioni risultano un tempo di incubazione a 37 °C per un'ora, tempi di digestione non superiori a 2 ore e un pH di circa 2-3. Anche il substrato proteico influenza la sua attività: ad esempio la digestione delle caseine risulta efficace anche a pH 5, caratteristico delle prime fasi digestive, prima dell'abbassamento ad opera della maggiore secrezione di HCl. Questo favorisce la veloce digestione del latte da parte dei neonati. La digestione dell'albume invece risulta efficace sempre a pH più acidi [31, 32]. La presente attività permette di testare la sua azione in dipendenza del pH e del tempo di incubazione, valutando i valori ottimali per compiere le sue funzioni. Permette, inoltre, di comprendere come inattivare un enzima esponendolo a temperature troppo elevate e a valori di pH che lo denaturano [33]. Gli studenti vengono divisi in gruppi e viene loro consegnato un portaprovette con cinque provette, una soluzione di NaOH 0,1 M, una soluzione di HCl 0.1 M, una soluzione di pepsina al 5%, acqua distillata e albume di uovo di gallina sodo. In ognuna delle cinque provette vengono testate diverse condizioni in dipendenza delle quali viene valutata l'efficacia della pepsina nella digestione dell'uovo:

1. Il controllo: nella provetta vengono pipettati solo 5 mL acqua distillata;
2. Provetta contenente 5 mL di soluzione di pepsina dopo essere stata riscaldata a 100°C per 5 minuti e 0,15 mL di soluzione di HCl;
3. Provetta contenente 5 mL di soluzione di pepsina a temperatura ambiente e 0,15 mL di soluzione di HCl;
4. Provetta contenente 5 mL di soluzione di pepsina a temperatura ambiente e 0,15 mL di soluzione di HCl;

5. Provetta contenente 5 mL di soluzione di pepsina a temperatura ambiente e 0,15 mL di soluzione di NaOH.

Viene successivamente testato il pH di ogni campione utilizzando una cartina tornasole: il controllo mostra pH neutro, i campioni 2, 3, e 4 un pH acido e il campione 5 basico. In ogni provetta viene poi aggiunto una sottile fetta di albume sodo (Fig. 4.25 a, b).



Fig. 4.25: a) pH dei 5 campioni testano con cartina tornasole; b) provetta n°4 a cui è stata aggiunta una fetta di albume sodo.

I campioni 1, 2, 3 e 5 vengono successivamente lasciati riscaldare a 37 °C a bagnomaria per un'ora. Dopo tale operazione si controllano i risultati: il campione 1 contenendo solo acqua mostra l'albume intatto; il campione 2 mostra l'albume non digerito poiché la pepsina è stata denaturata dal riscaldamento a 100 °C; nel campione 3 l'albume è stato completamente digerito; nel campione 5 la mancata incubazione a 37 °C ha impedito alla pepsina di agire; nel campione 5 il pH basico ha ostacolato l'azione dell'enzima. Anche nella presente esperienza è possibile utilizzare il test del biuretto: gli studenti sono chiamati a verificare la scissione delle proteine dell'uovo in amminoacidi: il colore della soluzione nella provetta n°4 resta azzurro dopo l'aggiunta delle soluzioni di NaOH e CuSO_4 0,1M mentre vira a violetto in una nuova

provetta contenente una miscela di acqua distillata e albume liquido. Nell'ultima ora di restituzione i gruppi espongono i risultati ottenuti attraverso una presentazione che documenti l'esperienza anche con contenuti multimediali realizzati durante l'attività laboratoriale.

3.4 Proposte per ulteriori protocolli didattici

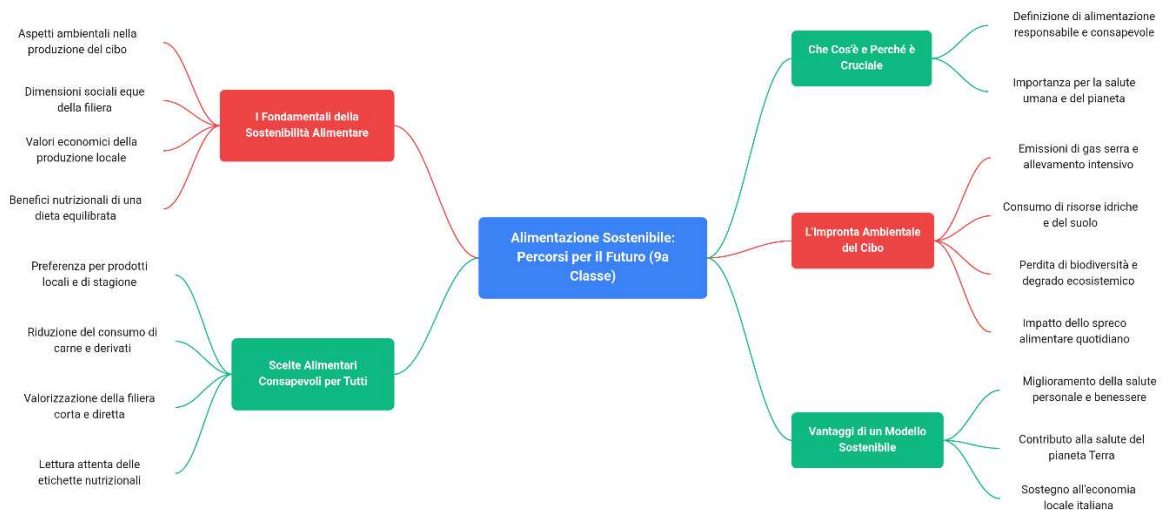
Nella presente sezione verranno discusse ulteriori proposte per attività didattiche sempre legate all'alimentazione sostenibile e all'educazione alimentare che possono essere personalizzate a seconda delle varie esigenze legate alla docenza.

f. Intelligenza Artificiale al servizio della didattica

Uno strumento molto dibattuto, soprattutto in ambito didattico, è rappresentato dall'Intelligenza Artificiale. Il Ministero dell'Istruzione e del Merito si è sentito chiamato a stabilire delle Linee Guida, pubblicate nel 2025, che *"... forniscono un quadro di riferimento strutturato per l'adozione consapevole e responsabile dei sistemi di Intelligenza Artificiale (di seguito, anche «Sistemi di IA») nelle Istituzioni scolastiche, rivolgendosi ai principali attori del settore, tra cui dirigenti scolastici, personale amministrativo, docenti e studenti"* [34]. In particolare viene sottolineato come l'utilizzo dell'IA debba sempre promuovere e facilitare il processo di apprendimento mantenendo la persona al centro di esso. Deve essere inoltre uno strumento inclusivo che favorisca la personalizzazione dei contenuti e la loro equa fruizione. Il suo utilizzo deve infine essere sostenibile dal punto di vista sociale, economico ed ambientale. Tra i vari strumenti utilizzabili si distingue Teachy, un utile software che genera lezioni, presentazioni, cruciverba, mappe, link a video, quiz ed esempi di test di valutazione su ogni argomento. I contenuti possono essere creati su misura a seconda del grado scolastico, della classe, del livello di difficoltà e degli specifici argomenti da trattare. Estremamente

userfriendly, è particolarmente usato dagli insegnanti ma anche gli studenti stessi possono “fare finta” di dover creare dei contenuti per la propria classe, imparando a organizzare le attività, a proporre i contenuti in maniera accattivante ed efficace e a valutare il processo di apprendimento. Di seguito vengono riportati gli esempi di una mappa concettuale (Fig. 4.26 a) e di un cruciverba (Fig. 3.26 b) generati per il primo biennio della scuola secondaria di secondo grado come strumenti di facilitazione allo studio dell'alimentazione sostenibile e dell'apparato digerente.

a)



b)

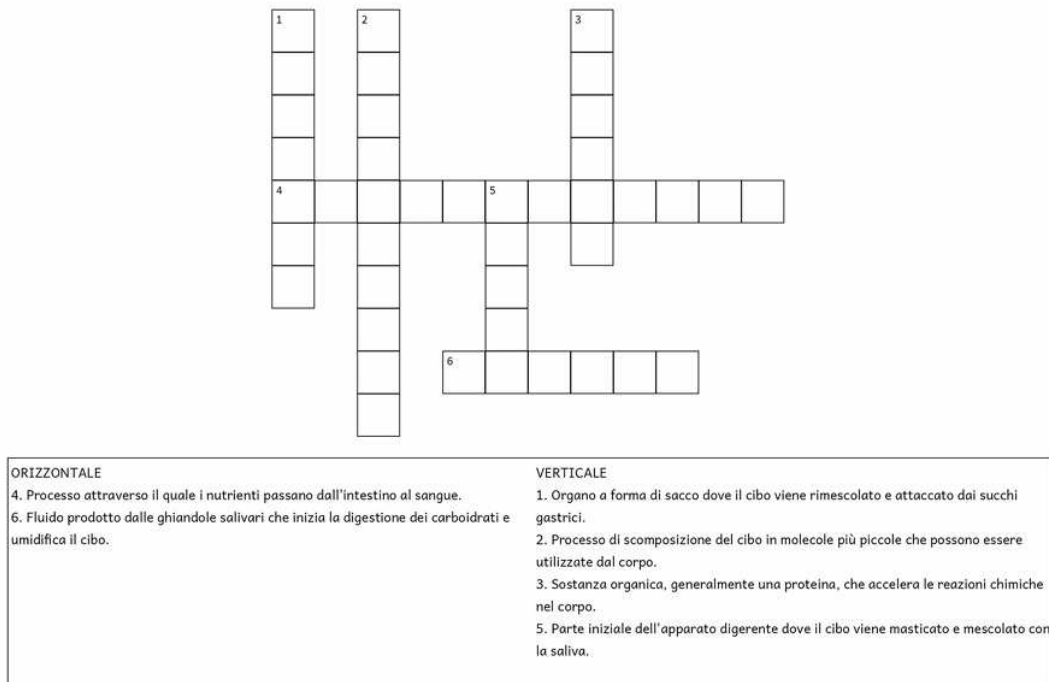


Fig. 4.26: a) Mappa concettuale sull'alimentazione sostenibile generata mediante il software didattico Teachy;

b) Cruciverba sull'apparato digerente generato dal software didattico Teachy.

g. La tutela della biodiversità in agricoltura: impariamo a progettare una coltivazione sostenibile

Attività interessanti aventi come argomento l'agricoltura sostenibile con particolare riferimento alla tutela della biodiversità possono essere progettate per i propri studenti. Di grande rilevanza per introdurre l'argomento è il riferimento alla Politica Agricola Comune (PAC) in vigore tra i Paesi dell'Unione Europea [35]. Varata nel 1962 e continuamente presenta tra i suoi obiettivi la tutela non solo degli agricoltori promuovendo l'occupazione nel settore agricolo, nelle industrie agroalimentari e nei settori associati, ma anche dell'ambiente aiutando ad affrontare

i cambiamenti climatici e la gestione sostenibile delle risorse naturali e preservando le zone e i paesaggi rurali in tutta l'UE. La PAC si articola in tre obiettivi principali, finalizzati ad ottenere un sistema sostenibile di agricoltura nell'UE: sostenibilità economica, sostenibilità ambientale e sostenibilità sociale delle aziende. Per conseguire tali obiettivi i Paesi dell'UE si avvalgono di una vasta gamma di interventi ascrivibili all'ampio contesto del Green Deal Europeo, la strategia per rendere l'Europa climaticamente neutra entro il 2050, riducendo le emissioni e promuovendo uno sviluppo sostenibile e inclusivo. Le buone pratiche e metodi per un'agricoltura sostenibile vanno a creare i cosiddetti regimi ecologici che hanno come finalità la conservazione del potenziale del suolo, la protezione dei corsi d'acqua dall'inquinamento, la protezione delle zone umide e delle torbiere. Inoltre si pone tra gli obiettivi specifici la mitigazione dei cambiamenti climatici, una gestione efficiente e sostenibile delle risorse naturali e la tutela della biodiversità, dei servizi ecosistemici e del paesaggio (obiettivo specifico 6). Per conseguire questo ultimo obiettivo si mettono in atto numerose pratiche tra cui la rotazione colturale con leguminose, la presenza di specie vegetali miste in prati permanenti per favorire l'impollinazione, la presenza di colture interfilari per prevenire l'erosione e la perdita dei nutrienti, il riposo dei terreni, la progettazione di habitat semi-naturali e la gestione a bassa intensità del suolo agricolo. Per coinvolgere attivamente gli studenti si può proporre queste tematiche mediante il metodo della flipped classroom o classe capovolta, così chiamato poiché presuppone lo svolgimento della preparazione teorica individuale a casa mentre le attività pratiche di gruppo in classe. Agli studenti viene fornito un esempio di azienda che mette in pratica l'agricoltura sostenibile attraverso un solido piano strategico. L'esempio in questione può essere rappresentato da Mulino Bianco, una rinomata azienda di proprietà del Gruppo Barilla, fondata nel 1975 a Parma, che produce una vasta gamma di prodotti da forno dolci e salati negli stabilimenti di Ascoli, Castiglione e Rubbiano [36]. Mulino Bianco rafforza l'impegno in sostenibilità partendo dal suo ingrediente primario: la farina di grano tenero. La

coltivazione di grano si basa infatti sulla "Carta del Mulino": un progetto realizzato in collaborazione con WWF Italia, Università di Bologna, Università della Tuscia e Open Fields, che innova il modo di coltivare il grano tenero e si inserisce nell'ampio progetto aziendale di sostenibilità che comporta una filiera responsabile, la riduzione di consumi idrici ed emissioni di CO₂, il benessere delle galline ovaiole e 420 ricette riformulate dal 2010 con l'obiettivo di sostenere un'alimentazione sana ispirata alla dieta mediterranea. La Carta del Mulino rappresenta un innovativo disciplinare di agricoltura sostenibile, costituito da 10 regole che sono annualmente aggiornate pensate per portare qualità nei prodotti, supportare il lavoro delle comunità di agricoltori e restituire spazio alla natura negli agroecosistemi, favorendo la biodiversità, riducendo l'uso delle sostanze chimiche e salvaguardando gli insetti impollinatori.

1. Tutti gli aderenti alla Carta del Mulino devono rispettare i requisiti della certificazione International Sustainability and Carbon Certification (ISCC PLUS);
2. Le aziende agricole devono attuare un piano di rotazione colturale di almeno tre colture diverse ogni cinque anni;
3. Il 3% delle coltivazioni deve essere dedicato ad aree fiorite, aree seminate con varie specie vegetali e non trattate chimicamente per favorire l'insediamento di insetti impollinatori, parassiti e animali di vario genere, preservando così la biodiversità dell'agroecosistema;
4. Le aziende devono scegliere sementi certificate prive di neonicotinoidi;
5. Gli aderenti devono utilizzare il software gestionale Barilla Farming per ottimizzare in maniera sostenibile la produzione;
6. L'utilizzo di fanghi di depurazione come fertilizzante nelle coltivazioni è vietato;
7. L'utilizzo di glifosato come erbicida non è consentito;
8. Le parcelle di grano raccolto devono essere segregate e tracciabili;

9. Il grano raccolto deve essere conservato mediante metodi fisici come la refrigerazione e le atmosfere modificate;
10. Tutti gli aderenti devono garantire un riconoscimento economico lungo la filiera.

Compito degli studenti è navigare nel sito Mulino Bianco, che spiega queste tematiche in maniera semplice, didattica ed interattiva con contenuti multimediali, mappe e giochi, e studiare i principi della Carta del Mulino, con particolare riferimento ai punti mirati a preservare la biodiversità. Una volta studiati questi punti, gli studenti vengono suddivisi in gruppi cooperativi in classe per svolgere un'attività pratica: progettare il proprio campo di grano che tuteli la biodiversità, realizzando anche graficamente il progetto attraverso mappe e disegni, realizzati a mano o digitalmente. Guida per tale attività sono le dettagliate indicazioni riferite alla regola 3 della Carta del Mulino, comprendenti specie vegetali che favoriscono l'insediamento degli insetti, dove realizzare le aree fiorite nel contesto del campo e dell'ambiente circostante, quale mix di piante erbacee, arbustive e arboree seminarvi a seconda della locazione geografica e della stagione di semina e come regolare la presenza di siepi (Fig. 4.27 a, b).

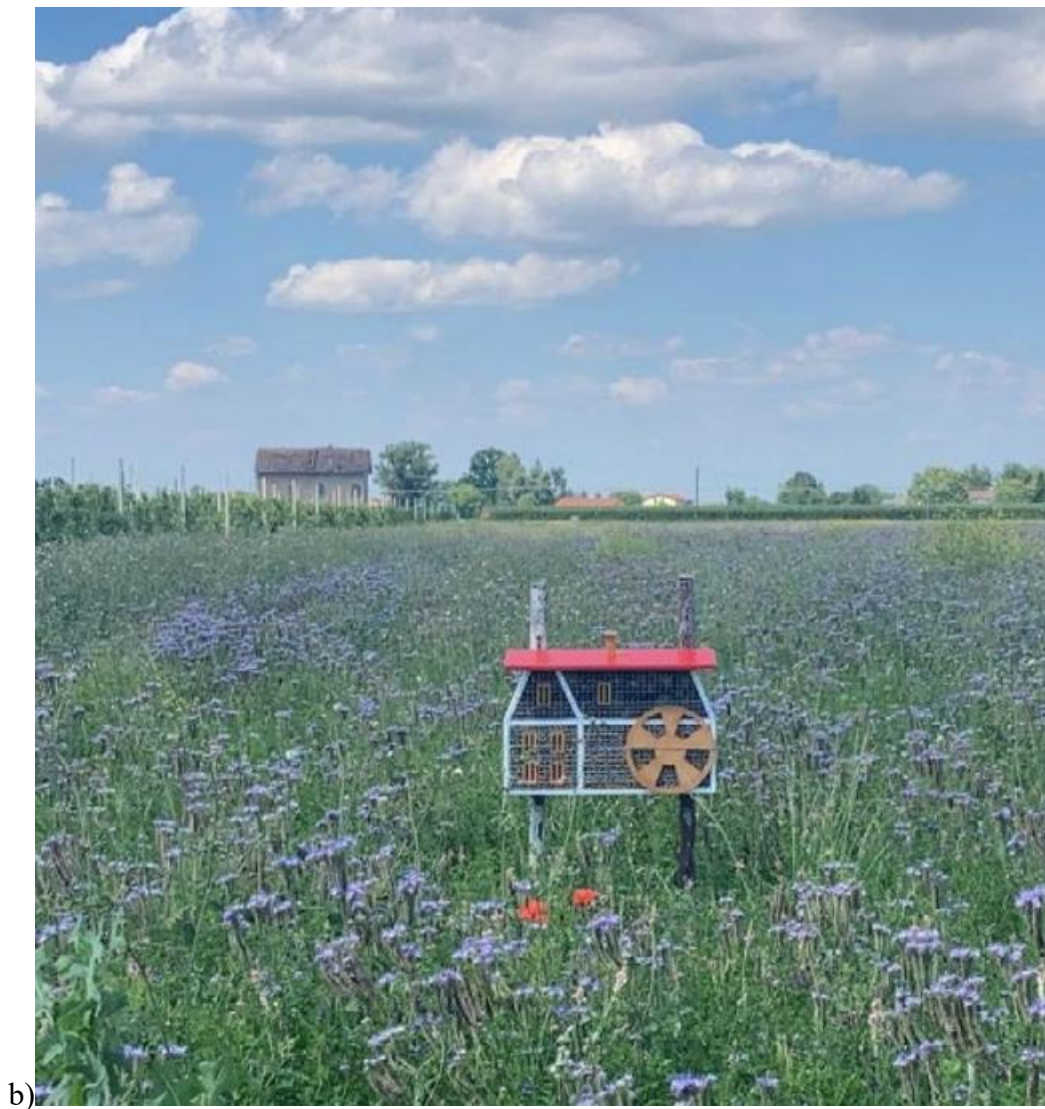


Fig. 4.27: a) Esempio di campo di grano che presenta un'area fiorita e una siepe per tutelare la biodiversità;
 b) foto di un'area fiorita nel contesto di una coltivazione di grano tenero con una particolare attenzione per le api impollinatrici: un "mulino" che funge da rifugio e permetta loro di svolgere le proprie attività.

h. Il benessere animale e le cinque libertà fondamentali

Un'importante tematica da affrontare nelle proprie classi è il benessere animale. Il Ministero della salute ha rinnovato nel 2025 il Piano Nazionale per il Benessere Animale [37] con lo

scopo di ottemperare alle disposizioni previste dalle norme nazionali e comunitarie e di rendere uniformi le modalità di esecuzione dei controlli ufficiali e la loro programmazione. Viene stilato anche con il fine di migliorare la formazione dei medici veterinari e degli allevatori relativamente alle tematiche di benessere animale. L'interesse verso la protezione degli animali da reddito, attivo fin dagli anni '80 nel contesto dell'UE, si è fatto ancor più evidente dal 2007 quando la Politica Agricola Comune ha inserito il benessere animale tra i criteri obbligatori da rispettare nell'ambito della cosiddetta "condizionalità" ai sensi del regolamento (CE) n. 1782/03. Tale necessità nasce dalla profonda trasformazione culturale con il riconoscimento degli animali come esseri senzienti e quindi portatori di diritto, come sancito dal Trattato di Lisbona. La tutela del benessere degli animali allevati può avvenire attraverso l'implementazione di un sistema etico rispetto al trattamento degli animali da allevamento mantenendo inalterate le garanzie di sicurezza e di salubrità degli alimenti di origine animale e le esigenze di reddito delle aziende. Anche l'opinione pubblica in materia di tutela degli animali è profondamente cambiata: la scelta dei prodotti di origine animale è fortemente indirizzata verso aziende agro-zootecniche che rispettano non solo l'ambiente ma anche gli animali. Il benessere animale viene solitamente riassunto con le imprescindibili 5 libertà evidenziate nel 1965 dal Rapporto Brambell, commissionato dal governo britannico in risposta alle crescenti preoccupazioni riguardo al trattamento degli animali negli allevamenti intensivi. Il rapporto ha evidenziato la necessità di considerare non solo la salute fisica degli animali ma anche il loro benessere psicologico e sociale:

- Libertà dalla fame e dalla sete: garantire accesso a cibo e acqua sufficienti;
- Libertà dalla paura e dal disagio: fornire condizioni che evitino sofferenza mentale;
- Libertà da malattie e ferite: garantire cure veterinarie adeguate;
- Libertà di esprimere comportamenti naturali: fornire spazio e opportunità per comportamenti naturali;

- Libertà dalla sofferenza: garantire che gli animali non siano sottoposti a sofferenze fisiche o mentali.

Alla luce di questa introduzione, gli studenti e le studentesse possono essere coinvolti attraverso, ad esempio, attività di studi di caso. La classe, suddivisa in gruppi, ha il compito di ricercare esempi di aziende agro-zootecniche etiche e sostenibili evidenziando in che modo vengono rispettate le 5 libertà. Un esempio adeguato è rappresentato dalla Latteria Sociale Valtellina [38]: 110 soci allevatori, 1200 ettari di territorio di fondovalle dedicato all'allevamento montano, 110 stalle e 5084 bovini da latte tra Sondrio, Lecco e Como. L'azienda vanta una produzione di latte fresco, formaggi a pasta dura e molle, burro e vari prodotti caseari da più di quarant'anni nel pieno rispetto degli allevatori, della tradizione locale, dell'ambiente e degli animali. Rappresenta una delle prime aziende lattiero-casearia a certificare il benessere animale seguendo le indicazioni del Centro di Referenza Nazionale per il Benessere Animale (CeNBA) dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale di Lombardia ed Emilia Romagna. Il metodo CeNBA misura il livello di benessere sulla base di una serie di indicatori riferiti allo stato psico-fisico dell'animale, alla sua interazione con gli altri animali, con l'uomo e l'ambiente circostante, alle strutture e alla gestione aziendale. Le mucche dell'azienda in questione vivono d'inverno in stalle pulite e rinfrescate mentre alpeggiano d'estate nei verdi pascoli montani, vengono sottoposte a puntuali cure veterinarie, si alimentano correttamente e sono libere di interagire e di muoversi. Un altro importante valore dell'azienda è rappresentato dalla sostenibilità ambientale: nel relativo sito è consultabile il bilancio di sostenibilità che sottolinea l'impegno dell'azienda nel sostenere attività e pratiche coerenti con gli obiettivi dell'Agenda 2030. Dalla produzione di latte, alla lavorazione e al confezionamento (le bottiglie di latte vengono prodotte con il 50% di PET riciclato) si rispetta l'ambiente cercando di ridurre l'impronta ecologica con l'utilizzo di tecnologie innovative. Anche la sostenibilità sociale ed economica è rispettata attraverso una governance etica e trasparente, la

sicurezza e la corretta formazione dei lavoratori e garantendo una crescita economica equa nel rispetto delle tradizioni e del territorio. Nel caso fosse possibile, l'organizzazione di uscite didattiche mirate alla visita di aziende che operano come quella descritta permetterebbe agli studenti di osservare dal vivo come gestire in maniera etica un allevamento.

i. Dall'apparato digerente alla pittura: origine biologica e uso artistico del fiele di bue e dei caseinati

L'apparato digerente e le sostanze che si vengono a produrre durante la digestione possono essere collegati all'ambito più impensato: quello artistico. Di seguito viene descritta un'attività didattica laboratoriale interdisciplinare che lega scienza e arte. Nel dettaglio viene descritta l'origine biologica della tempera a caseina e del fiele di bue, come ottenerle praticamente e il loro uso in pittura. Il latte è un'emulsione composta circa per l'85% da acqua, per il 3,5% da grassi, per il 5% da carboidrati (in particolare lattosio), per il 3,5% da proteine e in piccola parte da sali minerali e vitamine. Di particolare interesse artistico risulta la frazione proteica, composta principalmente dalla caseina. La caseina è la principale proteina del latte e si presenta in emulsione con i grassi grazie alla sua natura anfotera, composta da un gruppo fosfato (la parte idrofilica) esterificato con il gruppo ossidrilico della serina o dell'acido glutammico, tra i principali amminoacidi della sua struttura primaria (parte idrofobica). A causa della presenza di prolina nella catena ammonoacidica e della mancanza di ponti disolfuro la caseina non può ripiegarsi in una struttura terziaria. Ciò le conferisce un'elevata stabilità termica e la possibilità di formare colloidi in acqua mediante l'interazione dei gruppi idrofobici esposti. Le caratteristiche descritte hanno permesso al latte e in particolare ai caseinati di essere utilizzati nella storia come leganti, media per la stesura dei pigmenti e coloranti, fissativi e additivi in pittura. Tuttavia, il film pittorico che si viene a creare con la tempera a caseina tende a

screpolarsi e a divenire fragile a causa della rapidità dei processi degenerativi che lo coinvolgono [39]. Come si ottiene la tempera a caseina? Per isolare la caseina dal latte bisogna simulare il processo che avviene nello stomaco, dove il pH è estremamente acido (circa 2) a causa della presenza dell'acido cloridrico. La procedura prevede di riscaldare il latte parzialmente scremato a 35 °C (temperatura simile a quella corporea), flocculare la proteina con un acido (ad esempio acetico) raggiungendo un pH di 4,6, lavare con lo stesso acido, essiccare e macinare. La caseina può essere anche utilizzata per produrre i caseinati, di ammonio e di calcio, che vengono usati come consolidanti di intonaci, adesivi per l'incollaggio di tavole e legno. Vengono ottenuti sottoponendo la caseina a pH maggiori di 9 che la rendono solubile [39]. Una volta ottenuta la tempera di caseina seguendo le modalità illustrate, gli studenti possono poi dare sfogo alla propria creatività in ambito artistico utilizzandola come legante (Fig. 3.28 a). Il fiele di bue consiste in un tensioattivo utilizzato in pittura come ausiliario per acquerelli e tempere che viene ricavato dalla bile bovina. Vengono aggiunte poche gocce ai leganti (acqua o tempere grasse e magre) per favorire la stesura del colore e la bagnabilità delle superfici [39]. Per capire le proprietà del fiele di bue è necessario richiamare l'azione della bile nel duodeno. La digestione dei grassi, operata principalmente in questo tratto dell'intestino, avviene mediante l'azione della lipasi pancreatico solamente dopo che la bile reagisce con essi producendo un'emulsione (Fig. 3.28 b). La bile è un liquido verde-giallastro contenente acqua, ioni e acidi biliari prodotti nel fegato dagli epatociti a partire dal colesterolo, trasportato dal sangue mediante le lipoproteine LDL e HDL. La bile si accumula successivamente nella cistifellea o colecisti che si contrae durante la digestione riversando il suo contenuto nel duodeno attraverso il coledoco e lo sfintere di Oddi. I sali biliari, tra cui il deossicolato di sodio, presentano una natura anfipatica capace di interagire con i lipidi, creando piccole particelle di grassi con la propria parte apolare all'interno e quella polare all'esterno. Questo processo permette di esporre una superficie maggiore alla lipasi pancreatico che riesce

più facilmente ad idrolizzare i trigliceridi [2, 13]. Gli studenti possono testare la sua azione attraverso interessanti attività di laboratorio. Dopo essersi procurati il fiele di bue in colorificio e la lipasi in farmacia si può verificare la digestione dei grassi, ad esempio di quelli contenuti nella panna. Si preparano tre becher: uno con acqua e panna (controllo), in un altro si aggiunge la lipasi e nell'ultimo la lipasi e il fiele di bue. Successivamente si controlla il pH delle miscele per verificare il grado di scissione dei trigliceridi in acidi grassi e glicerolo. Il valore del pH risulta quindi più basso nel becher contenente lipasi e fiele di bue, confermando che la loro azione combinata porta ad una digestione più efficiente dei grassi [40].



a)



b)

Fig. 4.28: a) Esempio di tempera a caseina (https://www.antichitabelsito.it/colori_tempera_caseina.html); b) Miscuglio tra acqua e olio (a destra) che diventa un'emulsione (a sinistra) grazie all'aggiunta di fiele di bue [40].

j. L'orto didattico a portata di tutti

L'orto didattico consiste in uno spazio verde dedicato agli studenti e studentesse di un istituto scolastico. Tuttavia, non tutte le realtà scolastiche dispongono del terreno adatto ad attuarlo né del personale che se ne possa occupare per poterlo mantenere vitale e funzionale rispetto alle attività didattiche. Infatti, la cura dell'orto deve essere quotidiana così da permettere che laboratori per gli studenti coprano tutto l'anno con attività differenti a seconda delle stagioni e delle necessità delle varie specie vegetali. L'esempio riportato nel presente lavoro di tesi si riferisce alla serra di un istituto agrario altamente specializzato per tali scopi [41]. Per permettere a tutte le scuole di offrire tale opportunità ai propri studenti esiste un'interessante possibilità: l'utilizzo di kit di micro-orti facilmente lavorabili anche in classe. Chiamati anche "orti in cassetta", consistono solitamente in scatole allungate e larghe poche decine di centimetri e divise in diversi compartimenti, ognuno dedicato a una specie differente. Sono facilmente manovrabili e possono essere spostati a seconda delle esigenze scolastiche. Gli esempi sono numerosi: set di erbe aromatiche (prezzemolo, basilico, coriandolo...), ortaggi (pomodori, carote, cipolle, zucchine, lattuga, ravanelli...) e frutta (fragole, lamponi, mirtilli...) (Fig. 4.29).



Fig. 4.29: Esempio di "giardino urbano", un kit da giardinaggio per creare un orto in spazi ristretti.

5. Conclusioni e prospettive future

In conclusione del presente lavoro di tesi vengono di seguito riassunte le varie attività didattiche incentrate sull'alimentazione sana e sostenibile presentate nella sezione 1.2 come stato dell'arte (Tab. 5.1 c), i protocolli didattici elaborati basandosi sulle preferenze espresse dai docenti nel questionario a loro sottoposto (Tab. 5.1 b) ed ulteriori protocolli che soddisfano le rimanenti opzioni selezionate (Tab. 5.1 c).

a)

Titolo	Scuola	Attività	Tematiche	Durata	Ente realizzatore
a. Educazione alimentare in videolezioni	Scuola secondaria di secondo grado	Visione di video didattici incentrati sull'educazione alimentare	Macro e micronutrienti; malattie legate all'alimentazione; dieta mediterranea; fitonutrienti; sostenibilità ambientale	2 ore	RaiScuola
b. L'apparato digerente e la digestione dei macronutrienti	Scuola secondaria di primo grado	Esperienza di laboratorio sulla digestione dei macronutrienti; azione dell'enzima lattasi; test di Lugol; saggio per le proteine; osservazione di vetrini istologici	Macronutrienti e la loro digestione; funzione degli organi dell'apparato digerente; saggi per valutare la presenza di polisaccaridi e proteine; tessuti dell'apparato digerente	2 ore	Fondazione Golinelli
c. Dieta sana: partiamo dalle	Scuola secondaria di primo grado	Formulazione di un pasto equilibrato mediante lo studio dei	Macro e micronutrienti; fabbisogno calorico; principi	1 ora	Fondazione Golinelli

etichette alimentari		valori nutrizionale degli alimenti	di una dieta bilanciata		
d. Water e carbon footprint per un'alimentazione sostenibile	Scuola secondaria di primo grado	Elaborazione di pasti sostenibili sulla base della impronta idrica e di carbonio di diversi alimenti e bevande	La nostra impronta ecologica in base alle scelte alimentari che operiamo	2 ore circa	Fondazione Golinelli
e. Agenda 2030 e alimentazione e sostenibile	Scuola secondaria di secondo grado	Studio degli Obiettivi prefissati dall'ONU legati all'alimentazione sostenibile e delle buone pratiche per rispettarli	Agenda 2030; Obiettivi 3, 12 e 13; buone norme e comportamenti sostenibili	3 ore	I.S.I.S.S. Magnaghi-Solari
f. Diete sane ed equilibrate su misura	Scuola secondaria di secondo grado	Elaborazione di diete bilanciate per diverse esigenze nutrizionali	Principi di una dieta sana; fabbisogno calorico; BMI; macro e micronutrienti	3-4 ore	Libro di testo di Scienze degli alimenti [2]
g. Aziende agro-zootecniche sostenibili e gestione responsabile delle risorse idriche	Scuola secondaria di secondo grado	Incontro con produttori sostenibili e locali; incontro con la società che gestisce il servizio idrico locale	Strategie per coltivare e allevare nel rispetto dell'ambiente, degli animali e dei produttori; gestione sostenibile dell'acqua	2 ore + 4 ore circa	I.S.I.S.S. Magnaghi-Solari
h. L'orto didattico	Scuola secondaria di secondo grado	Cura e manutenzione delle specie vegetali in una serra	Pratiche di coltivazione; proprietà e caratteristiche	Da settembre a maggio	I.S.I.S.S. Magnaghi-Solari

			delle specie coltivate		
--	--	--	------------------------	--	--

b)

Titolo	Scuola	Attività	Tematiche	Durata	Preferenze espresse
a. Menù sostenibili: come influenzano la carbon e la water footprint le nostre scelte alimentari?	Scuola secondaria di primo grado (adattabile anche a quella di secondo grado)	Formulazione di menù sostenibili mediante specifici calcolatori e database	Dieta mediterranea vs. Western diet; water e carbon footprint	4 ore	4-3 (scuola sec. di I grado) 7 -5(scuola sec. di II grado)
b. Fabbisogno energetico e dieta equilibrata su misura	Scuola secondaria di primo grado (adattabile anche a quella di secondo grado)	Programmazione dei pasti di una giornata secondo diversi fabbisogni energetici e i principi di una dieta sana	Fabbisogno calorico; dieta equilibrata; macronutrienti	4 ore	4 (scuola sec. di I grado) 7 (scuola sec. di II grado)
c. L'apparato digerente e il processo digestivo: cosa succede al cibo che mangiamo?	Scuola secondaria di primo grado	Esperienza di laboratorio basata sulla simulazione dei processi digestivi	Apparato digerente: gli organi che lo compongono e le loro funzioni	3 ore	4 (scuola sec. di I grado) 7 (scuola sec. di II grado)
d. La celiachia e la gluten-sensitivity: impariamo a conoscere il glutine	Scuola secondaria di secondo grado	Esperienza di laboratorio incentrata sul glutine e le proteine presenti nelle farine	Celiachia e gluten-sensitivity; il glutine e la sua presenza o assenza in diverse farine; digestione	4 ore	3 (scuola sec. di I grado) 11 (scuola sec. di I grado)

			delle proteine e test del biureto		
e. La digestione delle proteine nello stomaco: come agisce l'enzima pepsina?	Scuola secondaria di secondo grado	Esperienza di laboratorio basata sull'azione dell'enzima pepsina e il suo range ottimale di pH e temperatura	Digestione delle proteine; enzimi e condizioni ottimali; test del biureto	4 ore	4 (scuola sec. di I grado) 7 (scuola sec. di II grado)

c)

Titolo	Scuola	Attività	Tematiche	Durata	Preferenze espresse
f. Intelligenza Artificiale al servizio della didattica	Scuola secondaria di primo e secondo grado	Elaborazione di contenuti didattici mediante l'IA	Uso dell'IA; apparato digerente; alimentazione sostenibile	3-4 ore	Dipende dalle tematiche scelte (cfr. Tab. 4.1)
g. La tutela della biodiversità in agricoltura: impariamo a progettare una coltivazione sostenibile	Scuola secondaria di primo e secondo grado	Progettazione di un campo agricolo che tuteli la biodiversità e l'ambiente	Studio di pratiche agricole sostenibili adottate a livello europeo e aziendale	3-4 ore	3 (scuola sec. di I grado) 5 (scuola sec. di II grado)
h. Il benessere animale e le cinque libertà fondamentali	Scuola secondaria di primo e secondo grado	Il benessere animale e le aziende che lo rispettano: studio di caso	Principi del benessere animale e buone pratiche ad esso legate	3-4 ore	4 (scuola sec. di I grado) 7 (scuola sec. di II grado)
i. Dall'apparato digerente alla pittura:	Scuola secondaria di primo e	Esperienza di laboratorio sull'origine biologica del	Azione e composizione della bile; produzione e	4 ore	4 (scuola sec. di I grado)

origine biologica e uso artistico del fiele di bue e dei caseinati	secondo grado	fiele di bue e della tempera a caseina	composizione dei caseinati; il loro uso in arte		7 (scuola sec. di II grado)
j. L'orto didattico a portata di tutti	Scuola secondaria di primo e secondo grado	Realizzazione e cura di un orto	Pratiche per la cura dell'orto; stagionalità e proprietà delle specie vegetali scelte per la coltivazione	Variabile	4 (scuola sec. di I grado) 7 (scuola sec. di II grado)

Tab. 5.1: a) Attività didattiche incentrate sull'alimentazione e la sostenibilità proposte e svolte in svariati contesti; b) Protocolli formulati per la scuola secondaria di primo e secondo grado sulla base del questionario proposto ai docenti; c) Ulteriori protocolli didattici che soddisfano le altre preferenze espresse.

Il questionario docenti, come già presentato nella sezione 4.1, ha rilevato la propensione degli insegnanti a proporre attività puerocentriche, ossia che rendano lo studente il protagonista del processo di apprendimento coinvolgendolo in esperienze laboratoriali e legate alla realtà. Anche l'analisi dello stato dell'arte di attività didattiche proposte alle scuole secondarie ha mostrato l'indirizzo della didattica verso la creazione di un ambiente cooperativo nel gruppo classe che lavora per costruire le proprie conoscenze ricercando e trovando risposte e soluzioni (Tab. 5.1 a). Per tale ragione, i protocolli formulati nel presente progetto di tesi mirano ad assecondare le esigenze descritte dei docenti e degli studenti: esperienze di laboratorio, di progettazione, di ricerca nella realtà locale e nel Web. I docenti intervistati hanno mostrato interesse per tutte le tematiche proposte con qualche preferenza più marcata, motivo per cui sono stati elaborati nel dettaglio cinque protocolli (Tab 5.1 b) per la scuola secondaria di primo grado ed il biennio della scuola secondaria di secondo grado incentrati sulla formulazione di menù sostenibili mediante il calcolo dell'impronta di carbonio e dell'impronta idrica e di pasti

equilibrati basati sul fabbisogno calorico e sulla dieta mediterranea; su attività di laboratorio mirate alla conoscenza dell'apparato digerente ed i processi digestivi che vengono operati dai diversi organi che lo compongono; sulla natura biochimica dei macronutrienti e specifici saggi per verificare la loro presenza e per riconoscerli nelle forme di monomeri o polimeri; sulla celiachia e sulla gluten-sensitivity, importanti esempi di malattie e intolleranze legate all'alimentazione. Si è, inoltre, cercato di soddisfare anche le altre preferenze espresse dai docenti elaborando quattro ulteriori protocolli (Tab. 5.1 c) basati sull'utilizzo responsabile dell'Intelligenza Artificiale; sullo studio attivo della tutela della biodiversità in agricoltura e del benessere animale in allevamento; sull'origine biologica di tensioattivi e leganti usati in campo artistico; su attività pratiche come la coltivazione di un orto.

L'alimentazione sana e sostenibile non rappresenta solamente una rilevante tematica didattica e scientifica ma anche un valore e uno stile di vita che rifletta il rispetto verso sé stessi e l'ambiente. L'interesse dimostrato da parte dei docenti dimostra un chiaro e confortante segnale dell'impegno di sensibilizzazione e acculturamento in ambito scolastico su queste tematiche. Inoltre, l'azione di enti come la Fondazione Golinelli contribuisce ulteriormente alla divulgazione e alla comunicazione efficace mediante laboratori, esperienze e attività. Gli studenti e le studentesse sono ora chiamati ad apprendere in maniera attiva ed autentica, rendendo propria l'alimentazione sostenibile per contribuire ad un futuro migliore per tutti.

6. Bibliografia e sitografia

- [1] Petrini S., *Terra Madre*, Giunti Slow Food, Bra, 2009
- [2] Machado A., *Scienza degli alimenti*, vol. unico 1° biennio, Poseidonia Scuola ed., Segrate, 2024
- [3] Ranganathan J. *et al.*, *Shifting diets: Toward a sustainable food future*, Global Food Policy Report, chapter 8, pp 67-79, Washington DC: International Food Policy Research Institute, 2016
- [4] Santoro A. *et al.*, *Combating inflammaging through a Mediterranean whole diet approach: The NU-AGE project's conceptual framework and design*, Mechanism of Ageing and Development, 136-137, pp 3-13, 2014
- [5] Trichopoulou A. and Vasilopoulou E., *Mediterranean diet and longevity*, British Journal of Nutrition, 84, 2000
- [6] <https://www.raiscuola.rai.it/percorsi/giornatamondialedeallimentazione>
- [7] Chaudary D. *et al.*, *Nutrigenomics and personalized diets - Tailoring nutrition for optimal health*, Applied food research, 5, 2025
- [8] <https://www.fondazionegolinelli.it/laboratori/chimica-e-biologia-della-digestione-25-26/>
- [9] <https://www.fondazionegolinelli.it/laboratori/mangiare-in-equilibrio-25-26/>
- [10] <https://www.alimentinutrizione.it/sezioni/tabelle-nutrizionali>
- [11] <https://www.emiliambiente.it/la-risorsa-acqua-nel-turismo-enogastronomico-magnaghi-solari-ed-emiliambiente-per-un-futuro-sostenibile/>
- [12] Bruice P. Y., *Chimica organica*, Edises, Città di Castello, 2005
- [13] Poli A. *et al.*, *Fisiologia animale*, Edises, Città di Castello 2018
- [14] <https://www.mim.gov.it/documents/20182/8952594/Indicazioni+nazionali+2025.pdf>
- [15] <https://www.istruzione.it/alternanza/allegati/NORMATIVA%20ASL/INDICAZIONI%20NAZIONALI%20PER%20I%20LICEI.pdf>

- [16] Benedetto D., Degli Esposti M., Maffei M. e Maffei C., *Matematica per le scienze della vita*, CEA ed., 2015
- [17] Crippa M., Solazzo E., Guizzardi D. *et al.*, *Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions*, Nat Food, 2021
- [18] https://edgar.jrc.ec.europa.eu/edgar_food
- [19] <https://www.fao.org/faostat/en/#data/EM>
- [20] <https://ourworldindata.org/explorers/food-footprints>
- [21] <http://www.improntawwf.it/carrello/>
- [22] Vanham D., Bidoglio G., *A review on the indicator water footprint for the EU28*, Ecological Indicators, 26, pp. 61-75, 2013
- [23] <https://www.fao.org/aquastat/en/>
- [24] <https://watercalculator.org/>
- [25] <https://ls-osa.uniroma3.it/esperimenti/cibo-in-viaggio/>
- [26] <https://www.epicentro.iss.it/celiachia/>
- [27] Mauren L. M., Sapone A., Catano C., Fasano A., *Celiac disease and nonceliac gluten sensitivity- A review*, Jama, vol. 318, pp 647-656, 2017
- [28] Fasano A., Catassi C., *Celiac disease*, New Eng. J. Med., vol. 367, pp 2419-26, 2012
- [29] Cappelli P., Vannucchi V., *Principi di chimica degli alimenti*, Zanichelli ed. Bologna, 2024
- [30] Stanforth K. J. *et al.*, *Pepsin properties, structure, and its accurate measurement: a narrative review*, Annual of Esofaghus, vol. 5:31, 2022
- [31] Loken M. K., *et al.*, *Comparative studies of three methods for measuring pepsin activity*, The Journal of General Physiology, vol. 42:2, 1958
- [32] Salelles L., Flourey J., Le Feunteun S., *Pepsin activity as a function of pH and digestion time on caseins, and egg white proteins on static in vitro conditions*, Food & Function, vol. 12, pp. 12468-78, 2021
- [33] <https://www.youtube.com/watch?v=FL2AK51TtKc>

- [34] https://www.mim.gov.it/documents/20182/0/MIM_Linee+guida+IA+nella+Scuola_09_08_2025-signed.pdf/b70fdc45-4b75-1f7e-73bf-eab12989b928?t=1756468797694
- [35] https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_it
- [36] <https://www.mulinobianco.it/lacartadelmulino>
- [37] <https://www.salute.gov.it/new/it/tema/prevenzione-e-controllo-malattie-degli-animali/piano-nazionale-benessere-animale-e-controlli/>
- [38] <https://www.latteriavaltellina.it/>
- [39] Campanella L. *et al.*, *Chimica per l'arte*, Zanichelli ed., Bologna, 2007
- [40] <https://www.diessefirenze.org/wp-content/uploads/2020/09/Che-lavoro-digerire-un-caff%C3%A8-con-panna-Collaborazione-tra-bile-e-lipasi-nella-digestione-dei-trigliceridi.pdf>
- [41] <https://www.magnaghisolari.edu.it/pagine/serra-didattica>

Ringraziamenti

Lo sviluppo del presente progetto di tesi non sarebbe stato possibile senza il fondamentale contributo di ogni persona che desidero qui ringraziare.

Ringrazio il Prof. Roberto Simonini che mi ha guidato con grande esperienza e pazienza nello sviluppo della tesi; ringrazio la Dott.ssa Raffaella Spagnuolo che ha diretto e supportato il mio tirocinio presso la Fondazione Golinelli creando un ambiente di lavoro sempre positivo e di crescita; ringrazio la Prof.ssa Annalisa Ferretti e il Prof. Daniele Malferrari che mi hanno aiutato ad indirizzare questo percorso universitario con la gentilezza e la lungimiranza di sempre; ringrazio tutti i docenti che hanno contribuito alla mia formazione con i loro corsi ed insegnamenti.

Ringrazio inoltre la mia famiglia che mi ha supportato quotidianamente in questa avventura e senza la quale tutto questo non sarebbe stato possibile: Vincenzo, Donatella, Maristella, Samuele e Fabrizio. Un grazie speciale ai miei tre bambini, Riccardo, Dafne e Ambra, con l'augurio di scoprire e proteggere insieme il mondo che ci circonda.