

OPERAZIONI UNITARIE CON APPLICAZIONI

Prof. Maria Martuscelli



II anno - CdS di Viticoltura ed Enologia
Facoltà di Bioscienze

OPERAZIONI UNITARIE CON APPLICAZIONI**LEZ.1 con Introduzione al corso****LEZ.2 Le OU fondamentali nelle Tecnologie Alimentari.****Simbologia e Modularizzazione.****Bilanci di massa e di energia.***Esercizio su Miscelazione (modulo di aggiunta stabilizzanti: uso solfiti)***Principi teorici sul moto dei fluidi nelle OU***Applicazioni delle OU su casi studio (es. antiossidanti)***OU con fenomeni di trasporto dei fluidi;***Esercitazione su moto dei fluidi. Esercizi di calcolo sui casi studio dell'acqua, del vino, ed altri sistemi alimentari.***Regione d'ingresso, profili di velocità e fattore di attrito.***Esercitazione su eq. di continuità***Equazione di continuità.****Operazioni di separazione: La Filtrazione, la sedimentazione, la flottazione, la centrifugazione****Separazione per solubilità: Cristallizzazione.***Esercitazioni su cristallizzazione***Separazione per via chimica e fisica: Distillazione.****Separazione per via chimica: Estrazione con solvente solido-liquido;****Fluidi supercritici, estrazione per adsorbimento. OU di Concentrazione per evaporazione.****Equazione di Bernoulli generalizzata. Perdite di carico. Uso del Diagramma di Moody.***Esercitazione su uso del Diagramma di Moody.***Lezione interdisciplinare con la partecipazione del Prof. Arfelli****Introduzione al Trasporto di calore. Approfondimento su Calore ed Energia.***Esercitazione su TRATTAMENTI TERMICI: calcolo di D , Z , F .***OU con Trattamenti termici (Pastorizzazione, Blanching, Sterilizzazione): PRINCIPI TEORICI E APPLICAZIONI.****OU con trasmissione di Calore. Essiccamento.***Esercitazione sull'uso delle carte psicrometriche. In collaborazione con Dr. Luigi Esposito***OU con sottrazione di Calore. Refrigerazione e Congelamento. Liofilizzazione****LEZIONE DI COMPLETAMENTO: riepilogo argomenti***Correzione individuale del Test e discussione in aula*

operazioni unitarie - E-learning Università degli Studi di Teramo

<https://elearning.unite.it> › [pluginfile.php](#) › [mod_resource](#) › [content](#)

PER GLI STUDENTI (DA FARE):

- 1.ISCRIVERSI AL CORSO TRAMITE LA PIATTAFORMA**
- 2.PARTECIPARE AI FORUM**
- 3.PARTECIPARE ATTIVAMENTE ALLE LEZIONI**

obiettivi:

- Fornire le basi culturali e scientifiche necessarie per affrontare i corsi di processi delle tecnologie alimentari, della qualità e stabilità degli alimenti
- Acquisire un linguaggio tecnico

strumenti didattici:

- **Materiale didattico delle lezioni (slides)**
- **Testi consigliati reperibili in biblioteca (italiano/inglese)**
- **Ogni altro materiale che sia oggetto di attività in aula** (*es. discussione su grafici, esercizi svolti in aula, costruzione di mappe concettuali e mentali e strumenti per lo story-telling, ecc..*)

A integrazione dei libri di testo suggeriti, durante il corso potrà anche essere distribuito materiale didattico a cura del docente.

Durante le esercitazioni saranno proposti casi reali che si possono presentare nell'industria enologica.

- **Sono previste visite ad aziende del settore enologico o produttrici di macchine per l'industria enologica.**

Testi consigliati (solo alcuni capitoli o sezioni saranno oggetto delle lezioni. E' possibile richiedere alla docente - via mail - quali siano le pagine dei testi da studiare e le presentazioni pdf delle lezioni)

- ◆ Carlo Pompei, **Operazioni Unitarie della Tecnologia Alimentare**, Casa Editrice Ambrosiana (Milano), Ed. 2009, ristampa 2012.
- ◆ Singh, Heldman, **Principi di tecnologia alimentare**, Casa Editrice Ambrosiana (Milano), prima edizione 2015 (<http://online.universita.zanichelli.it/singh>)
- ◆ Friso, **Ingegneria dell'industria alimentare Vol I-II**, COOP Libreria Editrice, Università di Padova.
- ◆ Patrizia Cappelli, Vanna Vannucchi, **Chimica degli alimenti. Conservazione e trasformazioni**, Zanichelli, terza edizione.

English book, useful especially for Erasmus students; please ask more to the professor about the sections to study

- ☐ **Food processing Technology** (Fellows, ed. CRC)
- ☐ **Unit Operations in Food Engineering** (Gustavo, V . Barbosa-Canovas and Albert Ibarz, ed. CRC Press 2002:
- ☐ **Food Chemistry** (Damodaran, Perkin, Fennema 2007)
- ☐ **Food Packaging** (Piergiovanni e Limbo, ed. da Springer)

Siti utili:

<https://shop.chiriottieditori.it/free-pdf>

<https://italiafoodtec.com/settori>

<http://www.foodnavigator.com/..>

<http://online.universita.zanichelli.it/singh>

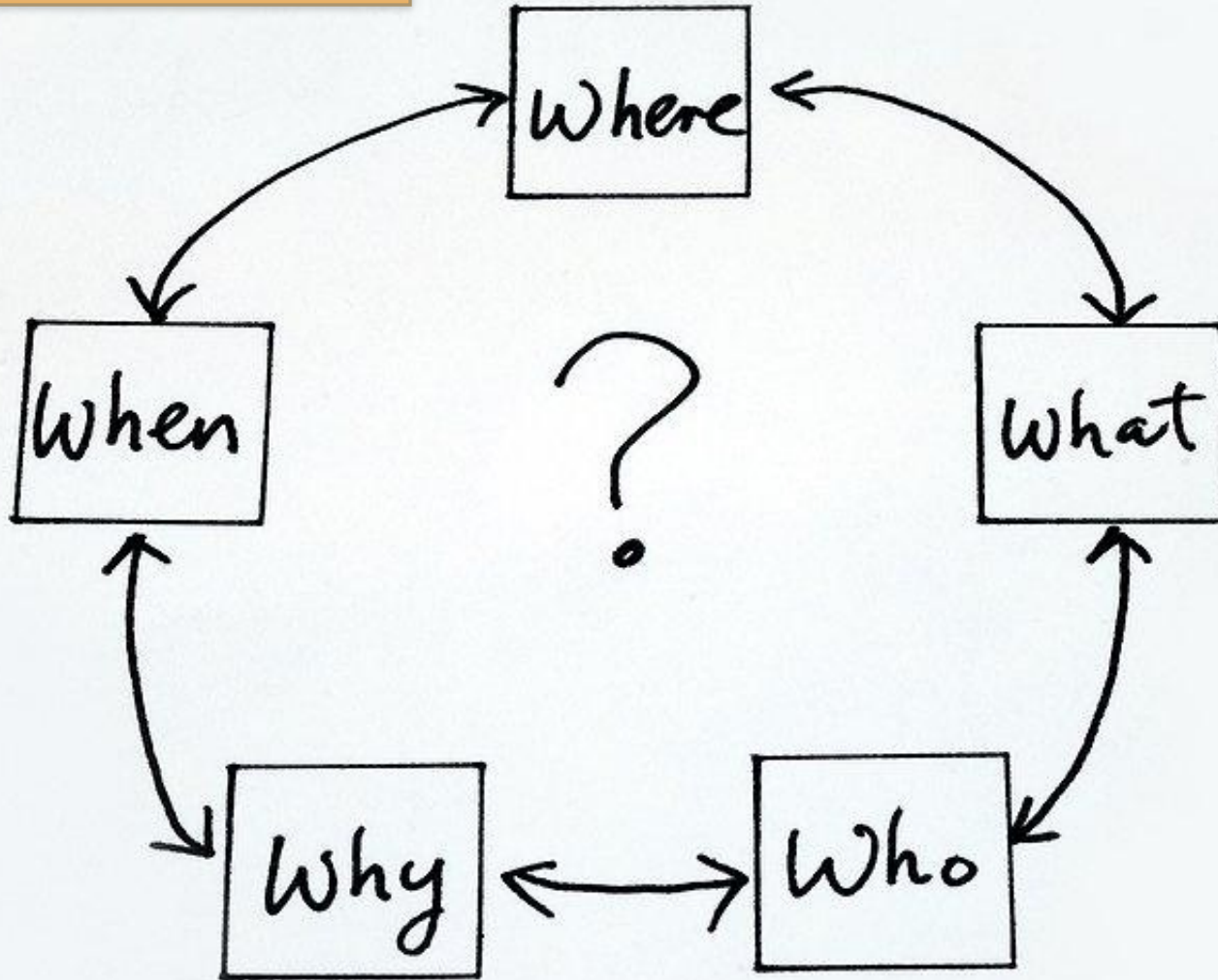
<http://www.foodgalaxy.org/>

...altri ???

verifica dell'apprendimento (all'inizio o alla fine della lezione):

- domande dirette o test scritto (test individuali)
- mappe concettuali
- breve esposizione su argomenti trattati (*storytelling*)

Storytelling: le regole



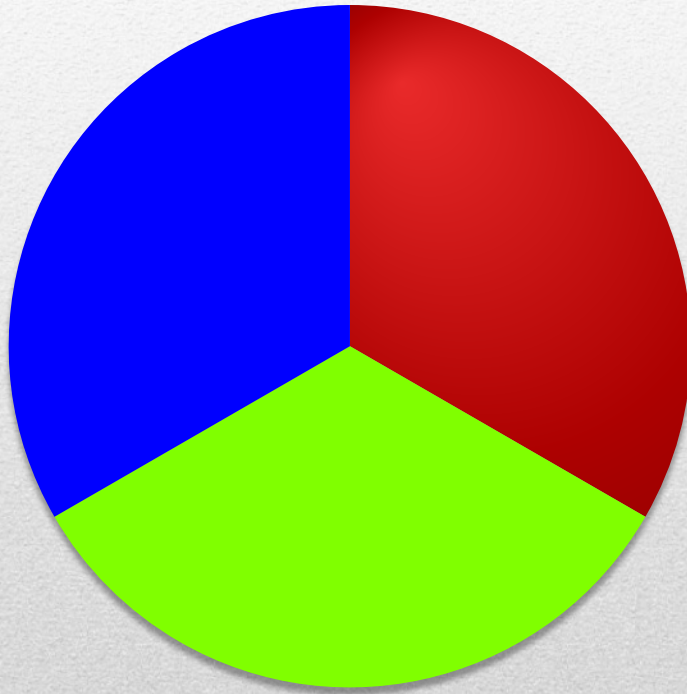
- Consulta sito web
- Contattare il docente per concordare un incontro (mmartuscelli@unite.it)
- Presso lo studio del docente

Ricevimento:

modalità di esame (valutazione finale):

- esame orale
- nel corso dell'esame verranno proposti esercizi o richiesto di argomentare su grafici relativi agli argomenti studiati (come proposti durante le esercitazioni)
- Sono previsti test di autovalutazione (N.B.: non hanno valore ai fini della votazione finale)

Attributi di valutazione:



■ Conoscenza degli argomenti

■ Capacità di ragionamento e di correlazione degli argomenti

■ Capacità di presentare gli argomenti con adeguato linguaggio tecnico

LE OPERAZIONI UNITARIE

- I diversi processi tecnologici che portano all'ottenimento di un alimento possono essere suddivisi in una serie di fasi indipendenti, ciascuna delle quali è un'operazione unitaria

- Fondamentale?
- Complementare?

In ogni caso, per essere descritta, si può seguire il seguente schema logico:

- Definizione
- Fenomenologia
- Progettazione
- Macchine e impianti
- Controllo

Operazioni unitarie

- OU Fondamentale?
- OU Complementare?

Una **classe di OU** viene definita dai seguenti elementi:

1. **OBIETTIVO**
2. **FENOMENO CARATTERIZZANTE**
3. **APPLICAZIONI** (nella produzione alimentare)

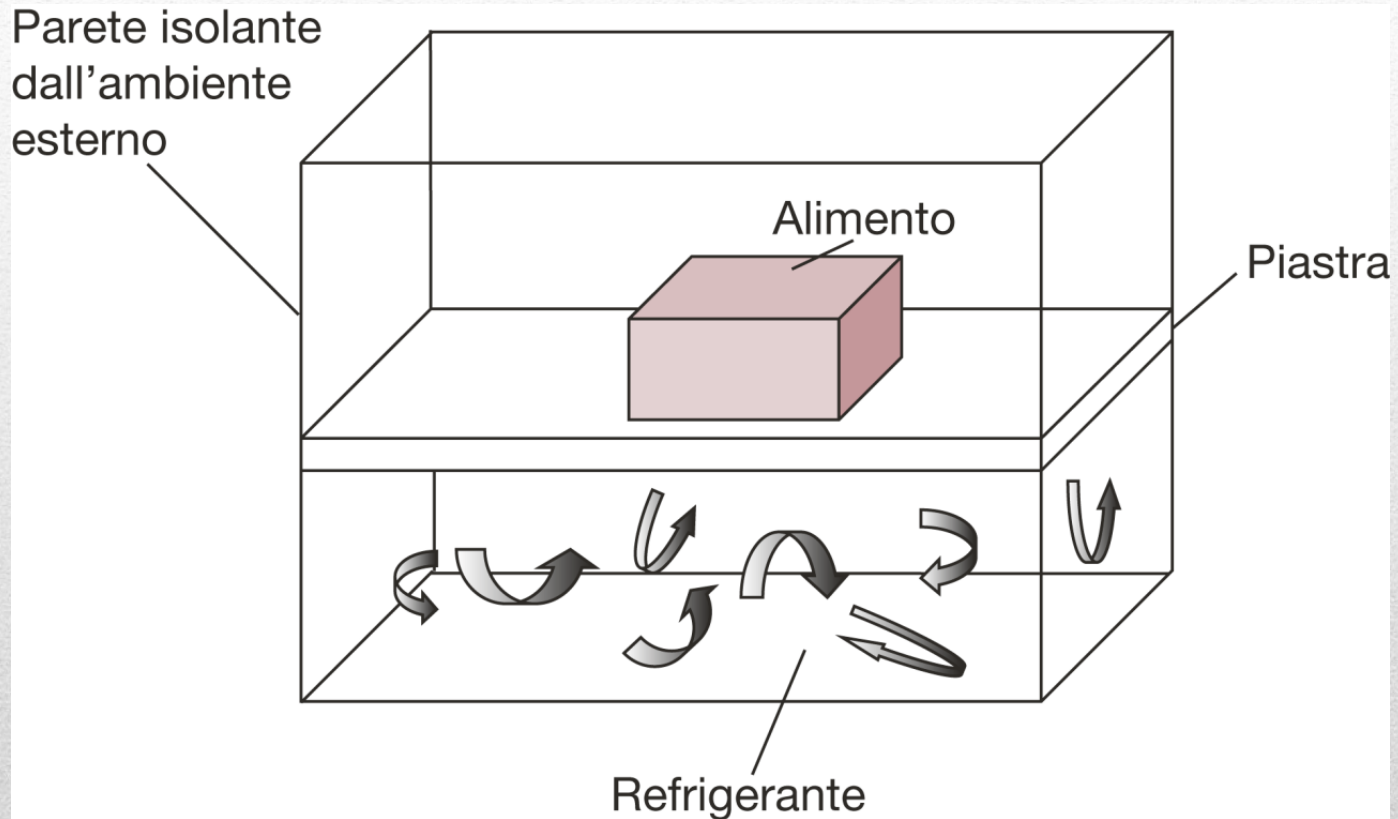
Operazioni unitarie

- *Trasformazione*
- *Conservazione*
- *Separazione di componenti*
- *Distruzione microbica*
- *Distruzione fattore anti-nutrizionale*
-

OBIETTIVO ?

CONOSCENZA DEI FENOMENI in gioco

(relativi al **prodotto in questione** ed all'**ambiente circostante = SISTEMA**)



Fenomeni

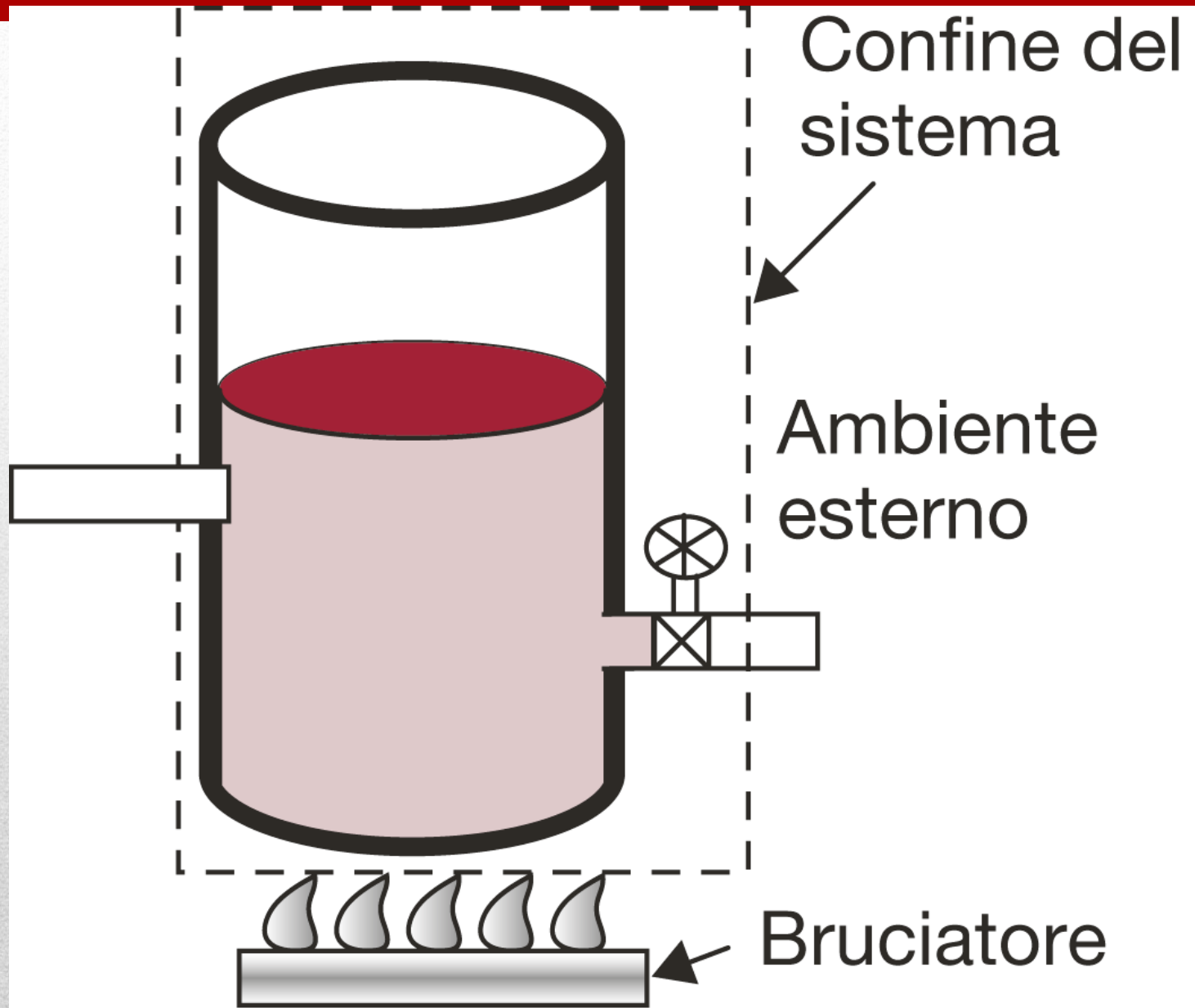


Figura 1.1 Sistema contenente un serbatoio con un tubo di scarico e una valvola.

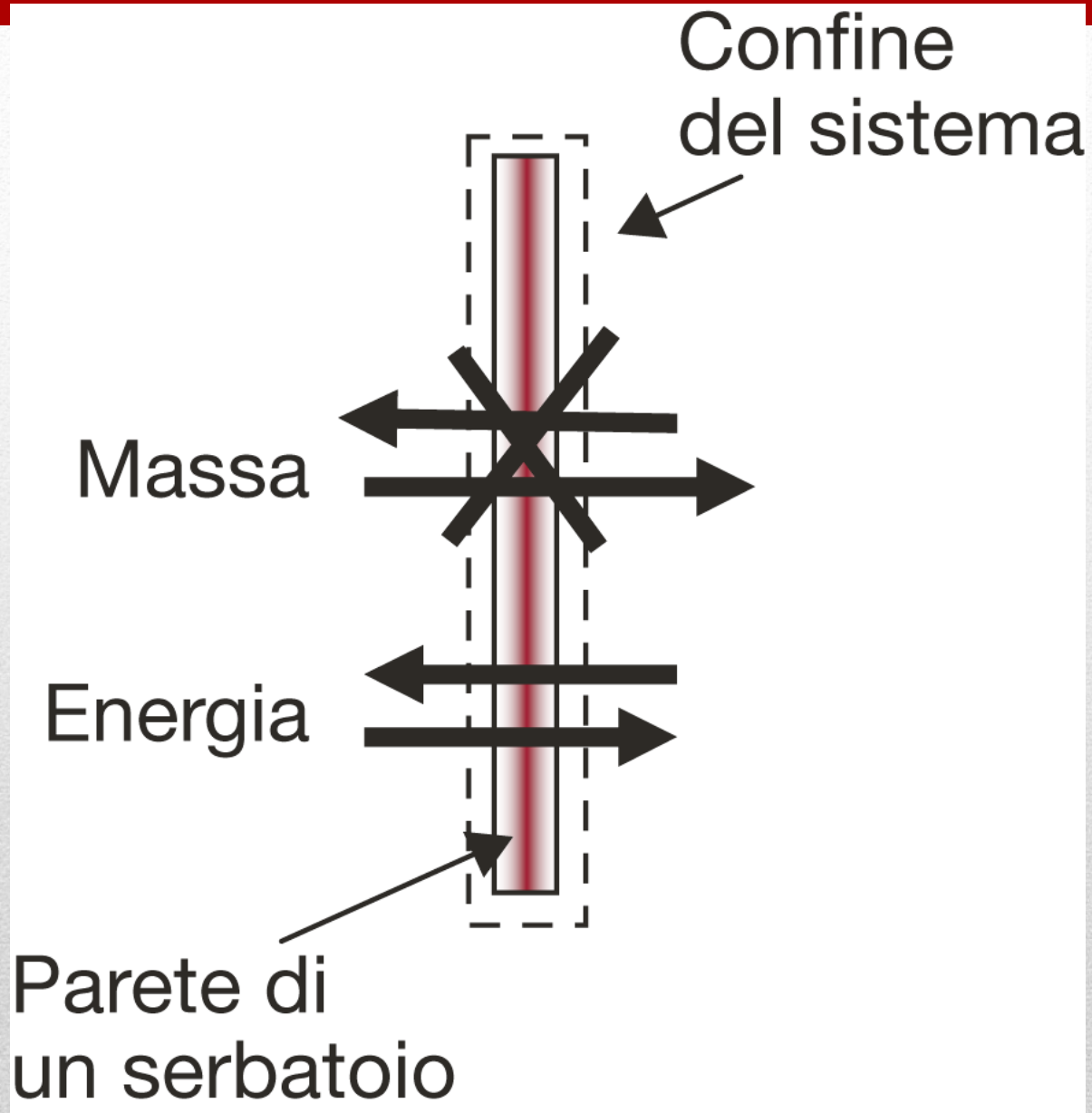
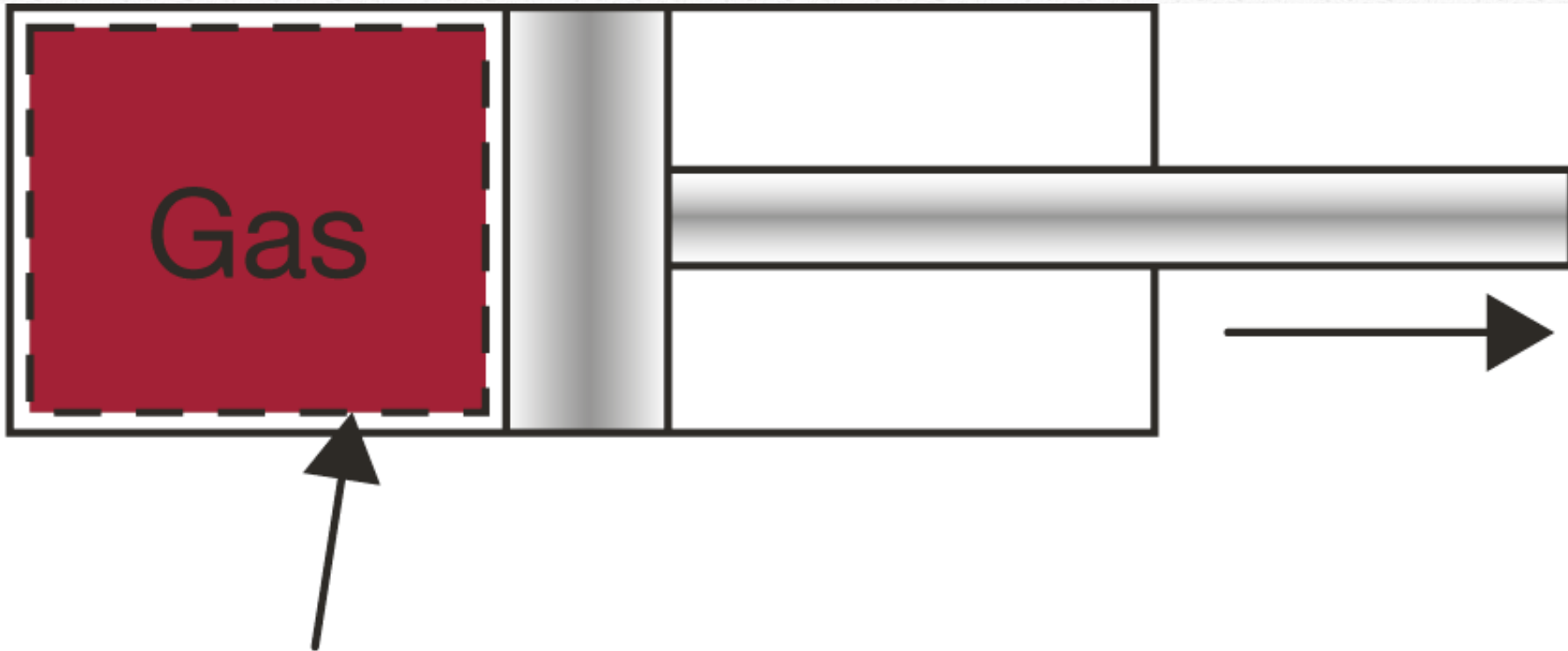


Figura 1.2 Sistema chiuso contenente una parete.



Confine del sistema

Figura 1.3 Sistema con un confine flessibile.

in un SISTEMA ALIMENTO-AMBIENTE sono possibili i seguenti FENOMENI:

1. Trasporto di quantità di moto
2. Trasporto di calore
3. Reazioni chimiche e biochimiche

Fenomeni???

in un SISTEMA ALIMENTO-AMBIENTE sono possibili i seguenti FENOMENI:

1. Trasporto di quantità di moto
2. Trasporto di calore
3. Trasporto di materia (all'interno del prodotto)
4. Reazioni chimiche e biochimiche

Fenomeni???

NATURA DEL FENOMENO		OPERAZIONE UNITARIA			
TRASPORTO DI QUANTITÀ DI MOTO	Trasporto di quantità di moto		Pompaggio, Miscelazione, Decantazione, Centrifugazione, Filtrazione particellare, Spremitura,		
	TRASPORTO DI QUANTITÀ DI CALORE	Trasporto di calore		Riscaldamento, Raffreddamento, Fusione,.....	
		TRASPORTO DI MATERIA	Trasporto di materia		Estrazione solido-liquido, Evaporazione, Distillazione, Essiccamento in corrente d'aria, Salatura, ..
			REAZIONI	Reazioni chimiche e biochimiche	

Figura 5. Esempi di fenomenologia generale delle operazioni unitarie

Da Zanoni, 2011)

Fenomeni???

Stabilire le condizioni operative ottimali per progettare un'operazione, ovvero:

- le variabili regolative (tempi, temperature, portata, pressione, velocità di flusso, superficie di scambio, ecc...)
- le caratteristiche delle materie prime, in base alle specifiche di qualità del prodotto; inoltre gli standards legislativi o volontari...

Applicazioni


- Stabilire le condizioni operative ottimali (Applicazioni) secondo *i principi di efficacia ed efficienza*
- *Cosa significa EFFICACE (per OU)?*
- *Cosa significa EFFICIENZA (per OU)?*

Applicazioni

- Stabilire le condizioni operative ottimali (Progettazione di OU) secondo *i principi di efficacia ed efficienza*
- *L'OU è EFFICACE se l'OBIETTIVO è raggiunto!*
- *L'OU è EFFICIENTE se l'obiettivo è raggiunto con minimo sforzo (ovvero: risparmio di tempo, risparmio di energia, minimo danno tecnologico, minimo scarto)*

Applicazioni

- La progettazione dell'OU si basa su studio quantitativo dei fenomeni precedentemente individuati, ovvero:

- 
- 1) PARAMETRO NUMERICO (ES. una determinata T, conc. O₂, ecc...)
 - 2) PROTOCOLLO OPERATIVO
 - 3) MODELLI MATEMATICI

Applicazioni

- I modelli matematici più semplici per il sistema OU possono basarsi su equazioni di bilancio materiale ed energetico.

applicazioni

Tabella 1.1 Unità di misura fondamentali del SI

Caratteristica misurabile del fenomeno o del materiale	Nome	Simbolo
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	kg
Tempo	secondo	s
Corrente elettrica	ampere	A
Temperatura termodinamica	kelvin	K
Quantità di sostanza	mole	mol
Intensità luminosa	candela	cd

Tabella 1.2 Unità di misura derivate del SI, espresse in termini di unità fondamentali

Grandezza	Unità di misura del SI	
	Nome	Simbolo
Area	metro quadrato	m ²
Volume	metro cubo	m ³
Velocità	metro per secondo	m/s
Accelerazione	metro per secondo quadrato	m/s ²
Densità, massa volumica	chilogrammo per metro cubo	kg/m ³
Densità di corrente	ampere per metro quadrato	A/m ²
Forza del campo magnetico	ampere per metro	A/m
Concentrazione	mole per metro cubo	mol/m ³
Volume specifico	metro cubo per chilogrammo	m ³ /kg
Luminanza	candela per metro quadrato	cd/m ²



Tabella 1.3 Unità di misura derivate del SI con denominazioni particolari

Grandezza	Unità del SI			
	Nome	Simbolo	Espressione in termini di unità particolari	Espressione in termini di unità fondamentali del SI
Frequenza	hertz	Hz		s^{-1}
Forza	newton	N		$m\ kg\ s^{-2}$
Pressione, sforzo	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
Energia, lavoro, calore	joule	J	$N\ m$	$m^2\ kg\ s^{-2}$
Potenza, flusso di irraggiamento	watt	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
Quantità di elettricità, carica elettrica	coulomb	C		$s\ A$
Potenziale elettrico, differenza di potenziale elettrico, forza elettromotrice	volt	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
Capacità elettrica	farad	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
Resistenza elettrica	ohm	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
Conduttanza elettrica	siemens	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
Temperatura Celsius	grado Celsius	$^{\circ}C$		K
Flusso luminoso	lumen	lm		cd sr
Luminanza	lux	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd\ sr$





Tabella 1.4 Unità di misura derivate del SI espresse in unità con denominazioni particolari

Grandezza	Unità del SI		Espressione in termini di unità fondamentali del SI
	Nome	Simbolo	
Viscosità dinamica	pascal secondo	Pa s	$m^{-1} kg s^{-1}$
Momento di una forza	newton metro	N m	$m^2 kg s^{-2}$
Tensione superficiale	newton per metro	N/m	$kg s^{-2}$
Densità di flusso di calore, irradianza	watt per metro quadrato	W/m ²	$kg s^{-3}$
Capacità termica, entropia	joule per kelvin	J/k	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
Capacità termica specifica, calore specifico	joule per chilogrammo kelvin	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
Joule per chilogrammo	joule per chilogrammo	J/kg	$m^2 s^{-2}$
Conducibilità termica	watt per metro kelvin	W/(m K)	$m kg s^{-3} K^{-1}$
Densità di energia	joule per metro cubo	J/m ³	$m^{-1} kg s^{-2}$
Forza del campo elettrico	volt per metro	V/m	$m kg s^{-3} A^{-1}$
Densità di carica elettrica	coulomb per metro cubo	C/m ³	$m^{-3} s A$
Densità di flusso elettrico	coulomb per metro quadrato	C/m ²	$m^{-2} s A$



Tabella 1.5 Unità supplementari del SI

Grandezza	Unità del SI	
	Nome	Simbolo
Angolo piano	radiante	Rad
Angolo solido	steradiane	Sr

Tabella 1.6 Densità dei solidi di ingredienti alimentari

Ingrediente	kg/m ³	Ingrediente	kg/m ³
Glucosio	1560	Grasso	900-950
Saccarosio	1590	Sale	2160
Amido	1500	Acido citrico	1540
Cellulosa	1270-1610	Acqua	1000
Proteina (globulare)	~1400		

Fonte: Peleg (1983)

Tabella 1.7 Densità apparente di alcuni prodotti alimentari

Prodotto	Densità apparente (kg/m³)
Fagioli, cacao	1073
Fagioli, soia, interi	800
Noce di cocco, triturata	320-352
Semi di caffè, verdi	673
Caffè, macinato	400
Caffè, semi tostati	368
Mais, pannocchie	448
Mais, semi	720
Latte, intero in polvere	320
Semi di senape	720
Arachidi, sgusciate	480-720
Piselli, secchi	800
Colza	770
Riso, sbramato	770
Riso, vestito	320
Zucchero, in grani	800
Frumento	770

Tabella 1.8 Area superficiale di alcuni alimenti

	Area superficiale media (cm ²)
Mela, Delicious	140.13
Pera, Bartlett	145.42
Prugna, Monarch	35.03
Uovo (60 g)	70.5

Fonte: Mohsenin (1978)

	A	B
1	Dati	
2	Quantità di saccarosio	10
3	Quantità di acqua	90
4	Densità della soluzione	1040
5		
6	Volume della soluzione	$= (B2 + B3) / B4$
7	Concentrazione p/p	$= B2 / (B2 + B3)$
8	Concentrazione p/v	$= B2 / B6$
9	Brix	$= B2 / (B2 + B3) * 100$
10	Molarità	$= B8 / 342$
11	Frazione molare	$= (B2 / 342) / (B3 / 18 + B2 / 342)$
12	Molalità	$= (B2 * 1000) / (B3 * 342)$

Figura E1.1 Foglio di calcolo per la determinazione della concentrazione di una soluzione zuccherina

	A	B	C	D	E
1	Dati				Unità di misura
2	Quantità di saccarosio	10	20	30	kg
3	Quantità di acqua	90	80	70	kg
4	Densità della soluzione	1040	1083	1129	kg/m ³
5					
6	Volume della soluzione	?			
7	Concentrazione p/p				
8	Concentrazione p/v				
9	Brix				
10	Molarità				
11	Frazione molare				
12	Molalità				

Figura E1.7 Schema del sistema dell'Esempio 1.9.

I MODELLI possono essere di vari tipi:

- **Matematici**
- **Iconici o materiali (prototipi, pilota)**
- **Concettuali (per simbologia, qualitativi, descrittivi)**
- **Analogici (per simulazione dei fenomeni)**

applicazioni

Proprietà specifiche di modelli matematici:

Sono espressione numerica di fenomeni o attività, espressi da equazioni che mettono in relazione variabili dipendenti con variabili indipendenti, attraverso una o più costanti di proporzionalità (a loro volta spesso dipendenti da altre variabili)

Per esprimere il decadimento qualitativo in relazione della temperatura

La relazione fra la temperatura e la velocità di un processo di degradazione viene espressa dall'equazione di Arrhenius (Labuza, 1985; IFST, 1993)

$$K = K_0 \cdot \exp(-E_a/RT)$$

Dove:

- E_a = indica la dipendenza del processo di degradazione dalla temperatura e si esprime in Kcal/mole;
- K = velocità di reazione;
- T = temperatura.

L'equazione di Arrhenius è rappresentabile con una retta dove si può calcolare per ogni temperatura prevista il tempo di durabilità di un prodotto alimentare.

Proprietà specifiche di modelli matematici:

Tutti i modelli matematici per essere utilizzati richiedono la conoscenza della **costanza di proporzionalità**, calcolata a seconda che:

- Per **modelli espliciti**, la costante di proporzionalità si valuta mediante l'**analisi di regressione (lineare e non)**;
- Per **modelli impliciti**, la costante di proporzionalità viene calcolata **per calcolo iterativo** (fino alla migliore convergenza dei dati sperimentali con quelli previsti dal modello)

Proprietà specifiche di modelli matematici:

I MODELLI STOCASTICI o cinetici sono in grado di simulare o descrivere un fenomeno

I MODELLI EMPIRICI od olistici descrivono matematicamente i dati sperimentali

Metodologie per costruire i modelli matematici:

1. knowledge-based methods

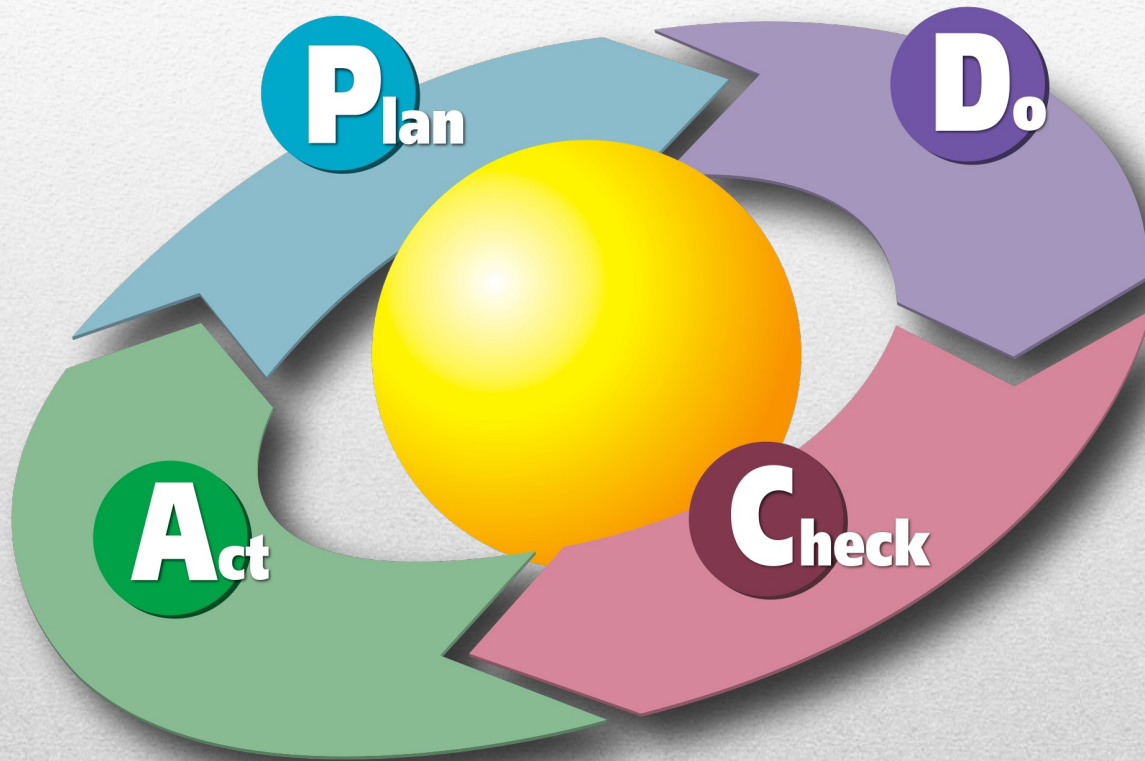
Prevedono la conoscenza dei fenomeni → la messa a punto dei modelli stocastici o empirici → la validazione dei modelli

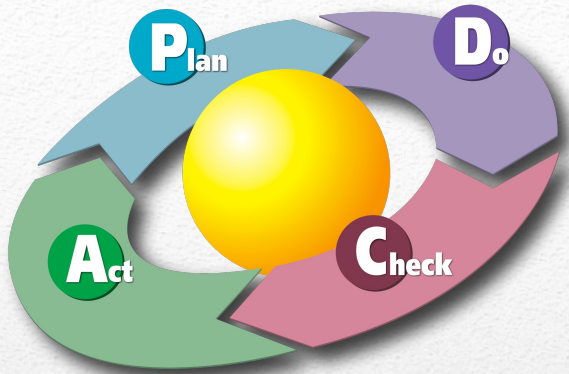
2) data-driven methods

Prevedono raccolta di numerosi dati sperimentali (in entrata e in uscita dal Sistema studiato) → la messa a punto dei modelli empirici (es. *reti neurali*, modelli *fuzzy*) → miglioramento progressivo dei modelli (*learning by doing method*)

Validità dei modelli = capacità predittiva (utilità)

- M. pseudo predittivi (non si basano sulla relazione fra costante di proporzionalità e variabili del sistema)
- M. predittivi (si basano sulla relazione fra costante di proporzionalità e variabili del sistema: *es. evoluzione del colore in funzione della concentrazione di polifenoli nell'uva, dipendente dal grado alcolico raggiunto...*)





- (----) Stabilire le condizioni operative ottimali della OU
- (----) Scegliere le macchine e impianti per realizzare l'OU
- (----) Verificare che tutto vada secondo i dati progettuali (controllo *on-line* oppure *off-line*)
- (----) Intervenire per correggere eventuali malfunzionamenti (l'OU non si svolge come previsto)

Derivati della frutta



Succhi:

- Nettare
- Succhi torbidi
- Succhi limpidi
- Bevande (bibite, bevande fermentate, succhi analcolichi)
- Prodotti dietetici
- Alimenti per l'infanzia
- confetture
- Gelati

Pezzi interi:

- Canditi
- Marmellata e Confetture
- Osmo-deidratati
- Congelati
- Deidro-congelati
- Conservati in Sciroppo
- dessert



Concentrati:

- Sciroppi
- Sterilizzati
- Congelati
- Essiccati
- liofilizzati

Essiccati:

- Preparati per dolci
- Snacks
- IMF

Costituenti:

- Coloranti
- Aroma
- Vitamine
- Polifenoli