

# Capitolo 6

## Le lavorazioni del terreno



### ■ APPROFONDIMENTI

#### 1 Agricoltura: sicurezza, salute ed ergonomia

##### Generalità

I recenti dati statistici evidenziano che l'agricoltura è uno dei settori produttivi con il maggior numero di incidenti.

L'INAIL, infatti, indennizza ogni anno circa 40.000 infortuni, con esiti di inabilità permanente annua dell'1% rispetto agli occupati e con una elevata presenza di casi di morte (100-130 casi/anno). Purtroppo l'impiego delle macchine agricole è uno degli elementi che concorrono maggiormente a causare tali incidenti. Da qui l'importanza di valutare la probabilità di rischi per la sicurezza e la salute nell'impiego di tali macchine.

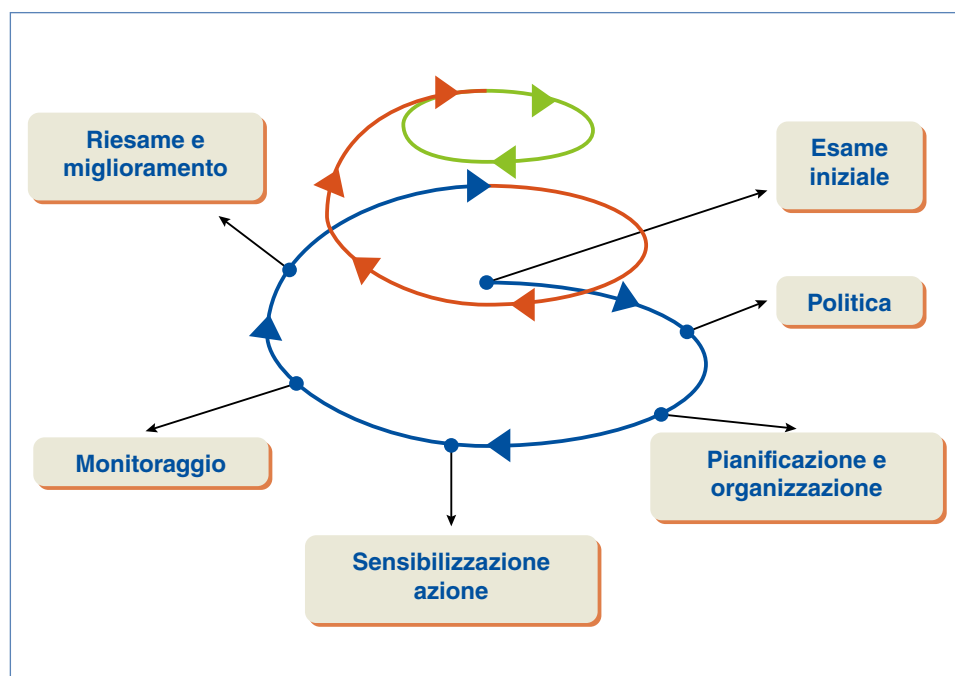
Per quanto riguarda il quadro normativo di derivazione comunitaria, il **Decreto Legislativo n. 81/08** (che ha sostituito il più famoso D.lgs. n. 626/94) è il testo che definisce il contesto all'interno del quale operare. Da sottolineare che, comunque, esso non ha annullato le precedenti dispo-

sizioni in materia di sicurezza sul lavoro, ma le ha inserite in un quadro più organico.

Le novità apportate dalla legislazione di derivazione comunitaria riguardano il fatto di aver introdotto in ogni azienda, in modo obbligatorio, un modello organizzativo diretto alla sistematica individuazione e rimozione, o diminuzione, dei fattori di rischio presenti.

Proprio per questa ragione possiamo dire che l'intento della normativa vigente è quello di impostare la sicurezza come sistema (Fig. 6.1) all'interno dei processi produttivi, intendendola a tutti gli effetti come una parte costitutiva ed essenziale dell'organizzazione aziendale.

In base a ciò, il datore di lavoro agricolo è tenuto ad adempiere a tutti gli obblighi normativi, ciò anche se assume nella propria azienda un solo lavoratore subordinato, anche per una sola giornata nell'anno.



**Figura 6.1.** Schema del funzionamento di un generico sistema di gestione della sicurezza sul lavoro.

## Esempi di quanto contenuto nella normativa precedente al D.lgs. n. 81/08 e definizioni

- Art. 41 della Costituzione: "L'iniziativa privata è libera. Non può svolgersi in contrasto con l'utilità sociale e in modo da arrecare danno alla sicurezza, alla libertà, alla dignità umana".
- Art. 2087 del Codice Civile: "L'imprenditore è tenuto ad adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro".

- Art. 4 del D.P.R. n. 547/55 e 303/56: "I datori di lavoro ... devono ... attuare le misure ... e ... rendere edotti i lavoratori dei rischi specifici cui sono esposti e portare a loro conoscenza i modi per prevenire i danni derivanti dai rischi predetti".
- Art. 9 della Legge n. 300/70: "I lavoratori, mediante le loro rappresentanze, hanno diritto di controllare l'applicazione delle Norme per la prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali e di promuovere la ricerca, l'elaborazione e l'attuazione di tutte le misure idonee a tutelare la loro salute e la loro integrità fisica".

### Definizioni

- **Lavoratore:** persona che presta il proprio lavoro alle dipendenze di un datore di lavoro con rapporto di lavoro subordinato. Sono equiparati i soci lavoratori di cooperative o di società, anche di fatto, che prestino la loro attività per conto della società e degli enti stessi.
- **Datore di lavoro:** soggetto titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore o comunque, il soggetto che, secondo il tipo e l'organizzazione dell'impresa, ha la responsabilità dell'impresa ovvero dell'unità produttiva, in quanto titolare dei poteri decisionali e di spesa.
- **Servizio di prevenzione e protezione dai rischi:** insieme di persone, sistemi e mezzi esterni o interni all'azienda, finalizzati all'attività di prevenzione e protezione dai rischi professionali nell'azienda, ovvero unità produttiva.

- **Responsabile del servizio di prevenzione e protezione:** persona designata dal datore di lavoro in possesso delle capacità e dei requisiti professionali indicati dalla legge; a certe condizioni, il compito può essere assunto direttamente dal datore di lavoro.
- **Medico competente:** medico in possesso di un titolo idoneo a occuparsi della sicurezza e della salute dei lavoratori sui luoghi di lavoro.
- **Rappresentante dei lavoratori per la sicurezza:** persona, persone, eletta o designata per rappresentare i lavoratori per quanto concerne gli aspetti della salute e della sicurezza durante il lavoro.

## Obiettivi e legislazione

Ogni datore di lavoro deve organizzare all'interno della propria azienda il **Servizio di Prevenzione e Protezione** che ha i seguenti compiti:

- valuta i rischi;
- elabora le procedure di sicurezza per le varie attività aziendali;
- propone i programmi di informazione e formazione dei lavoratori;
- fornisce ai lavoratori tutte le informazioni inerenti i rischi specifici e generici del loro lavoro e le relative contromisure, e ogni altra informazione inerente la sicurezza del luogo di lavoro.

È pure prevista la **sorveglianza sanitaria** dei lavoratori sottoposti a rischi per la loro salute e tale sorveglianza deve essere effettuata da un medico competente nominato dal datore di lavoro. Per quanto riguarda la **formazione**, il datore di lavoro assicura che ciascun lavoratore riceva una formazione sufficiente e adeguata in materia di sicurezza riferita alle proprie mansioni. Essa deve avvenire in occasione:

- dell'assunzione;
- del trasferimento o cambiamento di mansioni;
- dell'introduzione di nuove attrezzature di lavoro o di nuove tecnologie, di nuove sostanze o preparati pericolosi.

## Pericoli e rischi per la salute

I vari obblighi imposti al datore di lavoro ruotano attorno a un adempimento fondamentale che riguarda il trattamento sistematico dei rischi per la sicurezza e la salute presenti

nella propria azienda. È quindi fondamentale conoscere quali possono essere questi rischi e come essi siano correlabili con i connessi pericoli (Fig. 6.2).

Il D.lgs. n. 81/08 definisce pericolo (altrimenti detto **fattore di rischio**) una proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore (materiale di lavoro, materia prima o intermedia, metodo di lavoro, macchina e strumento), in grado di causare danni alle persone o all'ambiente.

Il termine **rischio** è invece usato per indicare la concreta probabilità che, nelle condizioni di impiego o di esposizione, sia raggiunto il livello potenziale di danno e per stimare le dimensioni possibili del danno eventuale.

I **pericoli** per la sicurezza e la salute sono tutti quegli elementi in grado di danneggiare il normale funzionamento degli apparati e degli organi dell'organismo umano. Nell'ambiente di lavoro, e in particolare nell'impiego delle macchine agricole (Fig. 6.3), questi possono essere:

- pericoli connessi all'impiego delle macchine o dei loro organi, per gli addetti o i sovrintendenti;
- pericoli più genericamente ambientali, per chi comunque opera in un luogo di lavoro in cui siano presenti macchine o impianti semplici o complessi;
- pericoli connessi alla tipologia di lavoro, per chi manipola sostanze tossiche o nocive, anche in assenza di macchinari;
- pericoli di viaggio o di trasporto, per chi si sposta per motivi di lavoro;
- pericoli per chi viene involontariamente a contatto con materiali o sostanze nocive, polveri, fumi, gas, ecc., presenti nell'ambiente di lavoro. Anche il **carico di lavoro** complessivo costituisce un fattore di rischio.

Secondo l'ergonomia (scienza che si occupa del benessere del lavoratore) il carico di lavoro globale può essere suddiviso in cinque sezioni (Tab. 6.1):

- **carico mentale** che si riferisce alla difficoltà a mantenere nel tempo viva l'attenzione;
- **carico energetico** che è costituito dal dispendio energetico necessario per affrontare movimenti e sforzi mu-

scolari. Un suo aggravamento si verifica nel caso in cui non vengano rispettate le conoscenze di tipo antropometrico;

- **carico dell'ambiente fisico** che è costituito dall'interrelazione di tutte le componenti di tale ambiente (in particolare rumore, vibrazioni);

### Metodologia di sviluppo e di analisi del processo pericolo/rischio



Figura 6.2. Azioni di prevenzione e protezione e loro connessione con l'identificazione dei pericoli e dei rischi.

Figura 6.3. Pericoli inerenti l'impiego delle macchine e attrezzature agricole che possono comportare rischi e determinare danni alla salute dei lavoratori.



Tabella 6.1. Fattori di rischio connessi ai carichi ergonomici.

FATTORI DI RISCHIO	DANNI	TIPO DI MISURA	LEGISLAZIONE
Carico mentale	Affaticamento, stress	Battito cardiaco, consumo ossigeno	
Carico energetico	Afezioni cronico-degenerative	Modelli NIOSH, OCRA, battito cardiaco	D.lgs. n. 81/2008
Carico dell'ambiente fisico – rumore – vibrazioni	Ipoacusia vascolari, neurologici, muscolo scheletrici	Fonometro, camera silente-accelerometri	D.lgs. n. 277/1991 ISO 2631, 5349
Carico ambiente climatico	Colpo di calore, svenimento, affaticamento	Temperatura, indici (WBGT, PMV), umidità	D.lgs. n. 81/2008, ISO 12894
Carico chimico – polveri – gas – fumi	Allergie, Intossicazioni, avvelenamenti	Polveri respirabili analisi gas analisi chimica	D.lgs. n. 81/2008, D.lgs. n. 277/1991

- **carico dell'ambiente climatico-chimico** che si riferisce alle condizioni generali ambientali (temperatura, umidità, ecc.) e all'inquinamento da polveri, gas, fumi, vapori che si generano nei vari ambienti produttivi;
- **carico psico-sociale** che è determinato dalla interrelazione del lavoratore con tutti gli elementi dell'organizzazione. Aumentare l'ergonomia nell'ambiente di lavoro, quindi, significa aumentare la sicurezza del lavoratore.

Il lavoratore che opera in presenza dei fattori di rischio sopra elencati può subire eventi negativi (danni, secondo quanti indicato in **Figura 6.3**) sulla salute che, come specificato in **Tabella 6.2**, si manifestano come:

- **infortuni**, intesi come eventi che determinano un danno di rilevanza clinica con un brevissimo intervallo di tempo tra il momento in cui l'energia connessa con l'incidente ha agito e quello in cui è iniziato il danno;
- **malattie professionali specifiche** (sordità, mal di schiena), intese come alterazioni che colpiscono determinati organi del lavoratore a causa dell'azione lenta e protratta nel tempo di fattori nocivi alla salute (sforzi, prodotti e sostanze d'uso industriale o agricolo, ecc.);
- **malattie professionali aspecifiche** (stanchezza, insonnia, disturbi digestivi, asma, stress, ecc.), intese come alterazioni fisiche e/o psichiche non direttamente collegate a una causa determinata;
- **danni biologici**, definiti dalla Sentenza n. 184 del 1986 della Corte Costituzionale, rappresentati da menomazioni psico-fisiche della persona, non solo in relazione all'attività lavorativa svolta o che potrebbe svolgere a fini economici, ma anche in relazione alla vita sociale, culturale ed estetica.

## Valutazione e trattamento del rischio

La normativa prevede che tutti i datori di lavoro debbano provvedere alla valutazione e al trattamento dei rischi, cosa che deve essere riportata in un apposito documento di valutazione dei rischi che, nelle aziende di minori dimensioni, può essere redatto ricorrendo a procedure standardizzate. Il processo di trattamento del rischio deve essere attuato attraverso tre fasi fondamentali (**Fig. 6.4**) corrispondenti ai punti in cui deve essere divisa la relazione cui sopra si è accennato:

- identificazione del rischio;
- valutazione del rischio;
- definizione degli interventi e delle loro priorità.

Per la **fase dell'identificazione del rischio**, possono essere agevolmente utilizzate delle linee guida, le liste di controllo, che consentono un'analisi puntuale e sistematico dei vari ambienti e delle diverse situazioni.

Per la fase di valutazione del rischio è necessario seguire tre passaggi fondamentali:

- definizione delle scale semiquantitative di valutazione del rischio secondo la sua entità prevedibile e la sua probabilità di accadimento (esempi di ciò sono presenti nelle **Tabelle 6.3** e **6.4**);
- utilizzazione delle *check-list* e delle scale precedentemente definite per la stima *in loco* dei rischi;
- collocazione grafica della stima dell'evento in una matrice dei rischi (si veda un esempio di tale matrice in **Figura 6.5**) e identificazione dell'indice I di rischio.

MANIFESTAZIONI RISCHIO	DEFINIZIONE	CAUSA O CAUSE	TIPO DI DANNI
<b>Infortunio</b>	Deve essere dovuto a una causa violenta	Da agenti materiali classificati INAIL	– morte; – inabilità permanente; – inabilità temporanea > 3 giorni
<b>Infortunio in itinere</b>	Sul percorso casa – luogo di lavoro (il percorso deve essere quello obbligato e/o con mezzi concessi o autorizzati dal datore di lavoro)	Incidente stradale	– morte; – inabilità permanente; – inabilità temporanea > 3 giorni
<b>Malattia professionale</b>	Sono le malattie tutelate dall'INAIL e riportate in tabella dal D.P.R. n. 336/94 (27 casi per l'agricoltura)	Fattori chimici Fattori fisici – rumore – vibrazioni – energia raggiante – posture incongrue – sforzi Fattori biologici – polveri – funghi – allergie	Intossicazione croniche da elementi chimici (rame, arsenico, zinco, selenio) - ipoacusia – malattie osteoarticolari – cataratta – lesioni muscolari – danni al rachide – silicosi, asbestosi, antracnosi, bissinosi, ecc. – intossicazioni croniche – polmoniti di vario tipo
<b>Malattia professionale</b>	Non tabellate, per le quali il lavoratore deve dimostrare che la causa consiste nella lavorazione a cui è addetto (Corte Costituzionale n. 179/88)	Fattori complessi	Stanchezza, insonnia, asma, stress
<b>Danno biologico</b>	Lesione alla salute definita dalla Corte Costituzionale con Sentenza n. 184 del 1986	Varie	Menomazione psico-fisica

**Tabella 6.2.** Manifestazioni del rischio che il lavoratore può subire.

Per la fase di definizione degli interventi che hanno lo scopo di aumentare la sicurezza del lavoro è necessario scegliere tra le due strade possibili:

- prevenzione: cioè diminuire i pericoli;
- protezione: cioè diminuire i rischi.

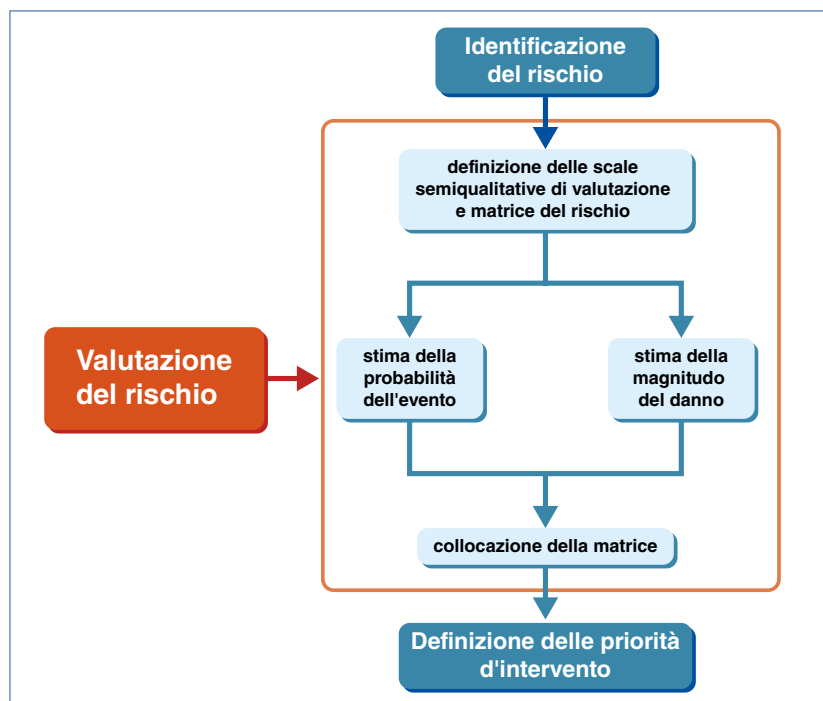


Figura 6.4. Trattamento del rischio.

VALORE	LIVELLO	CRITERI
–	–	Esiste una correlazione diretta tra mancanza rilevata e il verificarsi del danno ipotizzato per i lavoratori
4	Elevata	Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevata, nello stesso ambiente o in situazioni operative simili
–	–	Il verificarsi del danno conseguente alla mancanza rilevata non susciterebbe alcuno stupore tra gli operatori
–	–	La mancanza rilevata può provocare un danno, anche se non in modo automatico o diretto
3	M. alta	È noto qualche episodio in cui alla mancanza ha fatto seguito un danno
–	–	Il verificarsi del danno ipotizzato, susciterebbe una moderata sorpresa
–	–	La mancanza rilevata può provocare un danno solo in circostanze sfortunate
2	M. bassa	Sono noti solo rarissimi episodi già verificatisi
–	–	Il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe grande sorpresa
–	–	La mancanza rilevata può provocare un danno per la concomitanza di più eventi poco probabili e indipendenti
1	Bassa	Non sono noti episodi già verificatisi
–	–	Il verificarsi del danno susciterebbe incredulità

Tabella 6.3. Scala semiquantitativa delle Probabilità dell'evento (P).

VALORE	LIVELLO	CRITERI
4	Ingente	Infortunio o episodio di esposizione con effetti letali o di invalidità totale
–	–	Esposizione cronica con effetti letali e/o totalmente invalidanti
3	Notevole	Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale
–	–	Esposizione cronica con effetti irreversibili e/o parzialmente invalidanti
2	Modesta	Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità reversibile
–	–	Esposizione cronica con effetti reversibili
1	Trascurabile	Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità rapidamente reversibile
–	–	Esposizione cronica con effetti rapidamente reversibili

Tabella 6.4. Scala semiquantitativa dell'entità del danno o magnitudo (M).

Con riferimento alla Figura 6.6, la prevenzione avrà l'effetto di avvicinare la stima dell'entità del danno all'asse delle ordinate, mentre la prevenzione a quello delle ascisse.

Per la fase di definizione delle priorità degli interventi, questa può essere individuata attraverso il valore dell'indice I.

Sempre con riferimento alle Figure 6.5 e 6.6, si può tenere presente la seguente scala:

I = 1 ... 4 - rischio ritenibile (è facilmente evitabile il suo verificarsi);

I = 5 ... 8 - rischio che necessita di modesta attenzione;

I = 9 ... 12 - rischio che necessita di alta attenzione;

I = 13 ... 16 - rischio che necessita di altissima attenzione.

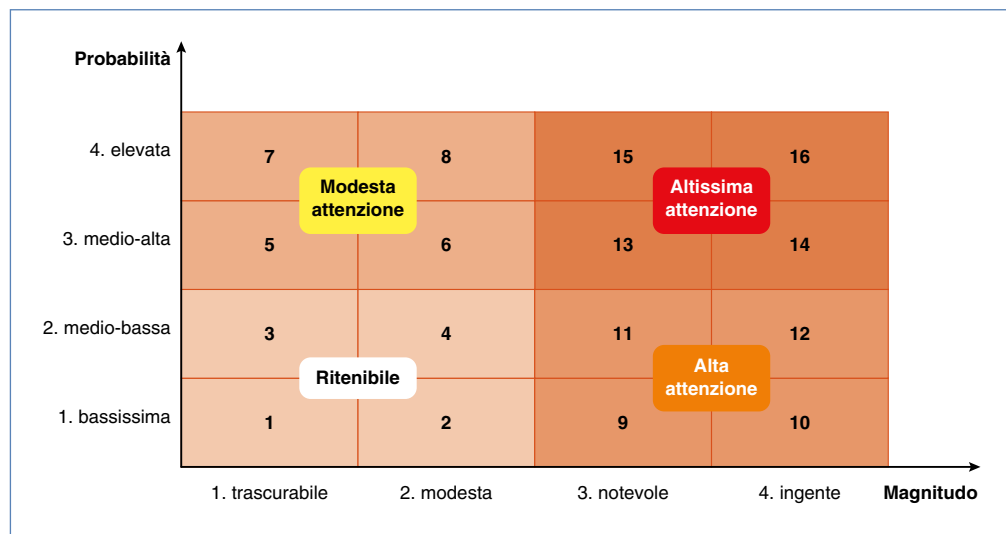


Figura 6.5. Matrice del rischio.

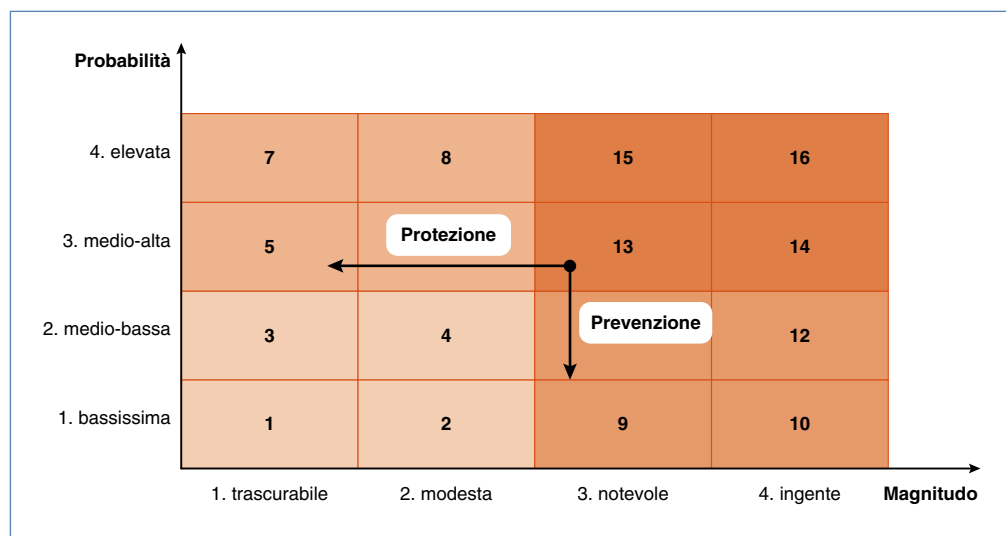


Figura 6.6. Valutazione grafica dell'entità del rischio e definizione della priorità degli interventi di tipo preventivo e di protezione.

## Acquisto di nuove macchine e noleggio

La normativa vigente decreta che: "Sono vietati la fabbricazione, la vendita, il noleggio e la concessione in uso di macchine, di attrezzature di lavoro e di impianti non rispondenti alle disposizioni legislative e ai regolamenti vigenti in materia di sicurezza".

In base a questa disposizione, colui che vende la macchina o l'attrezzo (per esempio, un trattore) non in regola con le norme anti-infortunistiche, ne risponde anche nella fase di intermediazione commerciale, comunque fino a quando il bene non è formalmente trasferito al nuovo proprietario.

E anche a trasferimento avvenuto il venditore può essere chiamato in causa per rispondere della propria responsabilità. Buona norma è verificare che su tutte le macchine acquistate sia presente il marchio CE che indica che il costruttore è venuto a conoscenza di tali norme antinfortunistiche e dichiara che le ha seguite durante la costruzione.

Si deve tuttavia sottolineare come il soggetto venditore al quale ci si riferisce, non è esclusivamente il costruttore, ma può essere anche l'imprenditore agricolo che cede a un terzo un macchinario da lui precedentemente acquistato.

## La prevenzione, la protezione, la protezione individuale

Il D.lgs. n. 81/08 impone al datore di lavoro di eseguire tutte le azioni necessarie per limitare i danni alla salute dovuti a infortuni o malattie professionali dei lavoratori. Per far questo definisce tre stadi di esecuzione propedeutici:

- esecuzione di misure di prevenzione (esempio, in caso di rischio chimico dovuto all'impiego di pesticidi, impiegando prodotti che siano innocui per l'operatore);
- eseguito quanto sopra, messe in essere delle misure di protezione per i rischi residui (ad esempio, creando un'area aziendale dedicata dove si eseguono le operazioni di preparazione della miscela e di pulizia della macchina) per preservare dal rischio gli operai non direttamente addetti all'attività;
- eseguito quanto sopra, per eliminare il rischio residuo far usare i dispositivi di protezione individuale agli addetti coinvolti nell'attività (ad esempio, fornire all'operatore guanti appropriati per l'impiego di agenti chimici liquidi).

Non sono pochi i datori di lavoro che credono di essere a norma, saltando l'adeguamento delle attività di prevenzione e protezione (punti 1 e 2), e limitandosi a fornire i Dispositivi Individuali di Protezione (DPI) ai soli addetti esposti direttamente a un pericolo. Ad esempio ciò accade quando si forniscono dei DPI (es. maschere in Figura 6.8) ad un operaio addetto ai trattamenti che impiega un trattore senza cabina. In questo caso si ignora il rischio per mancata prevenzione, per l'operaio, in quanto allo stato attuale esistono trattori in grado di proteggere meglio la salute dell'operatore. Inoltre è probabile che si stia ignorando il rischio di mancata protezione nei confronti di altri operatori che lavorano nelle vicinanze ai quali non viene fornito nessun DPI.

### ✓ Esercizi

**E1.** In una azienda agricola il trattore è collegato alle macchine operatrici con albero cardanico con grado di manutenzione insufficiente (Fig. 6.7). Valutare l'indice I di rischio relativamente alla possibilità che si verifichino incidenti dannosi alla salute e attribuire la conseguente priorità di intervento.

**S1.** Per la magnitudo, utilizzando la Tabella 6.3 possiamo ritenere che: **il verificarsi di un danno conseguente alla mancanza**

## I Dispositivi Individuali di Protezione (DPI)

Eseguiti con scrupolo gli adempimenti di Prevenzione e Protezione dai rischi residui, quando non è possibile adottare misure tecniche, procedurali o organizzative (misure di protezione collettiva), il datore di lavoro deve mettere a disposizione dei lavoratori i **Dispositivi di Protezione Individuali (DPI)**.

Per DPI si intende qualsiasi attrezzatura destinata a essere indossata dal lavoratore per proteggerlo contro i rischi che minacciano la sua sicurezza e salute durante il lavoro, nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo. I DPI devono essere conformi alle norme del D.lgs. n. 475/92 e DM 2/5/01 e devono risultare:

- adeguati al rischio da prevenire;
- adeguati all'ambiente di lavoro;
- idonei per ergonomia e comfort;
- adatti al lavoratore;
- compatibili tra loro se usati simultaneamente.

Tali dispositivi devono essere certificati da appositi organismi in funzione dei rischi da cui essi devono proteggere:

- **1ª categoria (rischi minori)**, certificata direttamente dalla ditta produttrice;
- **2ª categoria (rischi intermedi)**, certificata la progettazione solo da organismi autorizzati;
- **3ª categoria (rischi di morte o lesioni gravi)**, certificata da organismi autorizzati che controllano sia la progettazione che la produzione.

Il marchio CE garantisce l'avvenuta certificazione. Il datore di lavoro deve valutare attentamente le condizioni che impongono l'uso dei DPI, individuandone le caratteristiche necessarie in funzione dell'entità del rischio, della frequenza dell'esposizione, delle prestazioni.

**rilevata non susciterebbe alcuno stupore tra gli operatori**

e quindi stimare la Magnitudo = 4.

Per la probabilità, utilizzando la Tabella 6.4, possiamo ritenere che l'elemento che si sta valutando possa essere classificato come avente la possibilità di provocare un: **infortunio o episodio di esposizione con effetti letali o di invalidità totale** e quindi si deve stimare Probabilità = 4 e Indice = 16. **Il rischio necessita di altissima attenzione.**



Figura 6.7. Alberi cardanici dell'azienda esaminata.

Inoltre mantiene gli stessi in perfetta efficienza mediante un'adeguata manutenzione e istruisce i lavoratori sul loro uso.

Ricordiamo che l'addestramento è indispensabile per ogni DPI che appartenga alla terza categoria ai sensi delle norme vigenti (es. DPI per trattamenti antiparassitari) e per i dispositivi di protezione dell'udito. In azienda devono essere presenti, a disposizione dei lavoratori, idonei mezzi individuali di protezione, appropriati per le diverse lavorazioni e operazioni eseguite. Tali mezzi devono essere contrassegnati con il nome del lavoratore, mantenuti in buono stato di conservazione, lavati con cura e riposti, quando inutilizzati, in locale idoneo, provvisto di armadietti a doppio scomparto per mantenere separati gli abiti personali da quelli di lavoro.

## La cartellonistica

L'importanza di una corretta cartellonistica sui luoghi di lavoro è stata oggetto di specifiche normative, che prevedono precisi obblighi a carico del datore di lavoro, e sanzioni penali particolarmente pesanti. Secondo la normativa vigente (D.lgs. n. 81/2008 e s.m.i.), la segnaletica di sicurezza viene suddivisa in 6 categorie:

- segnali di divieto: vietano comportamenti che potrebbero mettere in pericolo le persone. Di forma rotonda, sono caratterizzati tutti da un pittogramma nero su fondo bianco, con bordo rosso e diagonale rossa a 45° da sinistra verso destra a partire dall'alto;
- segnali di avvertimento: avvisano di un pericolo o di una situazione che può essere rischiosa. Hanno forma triangolare e sono caratterizzati da un pittogramma nero su fondo giallo con bordo nero;
- segnali di prescrizione (obbligo): prescrivono comportamenti, cioè danno informazioni per far eseguire alle persone degli obblighi in particolari situazioni o ambienti. Hanno forma tonda e pittogramma di colore bianco su sfondo azzurro;
- segnali di salvataggio o soccorso: danno istruzioni sull'ubicazione delle uscite di sicurezza o relative ai mezzi di soccorso e/o salvataggio a cui ricorrere in caso di necessità. Hanno forma quadrata e rettangolare e sono caratterizzati da un pittogramma bianco su sfondo di colore verde;
- segnali di per le attrezzature antincendio: indicano dove si trovano le attrezzature antincendio. Sono di forma quadrata e sono caratterizzati da pittogramma bianco su sfondo di colore rosso;

- cartelli supplementari: forniscono indicazioni diverse dalle precedenti, ad esempio per segnalare ostacoli. Sono importanti perché permettono alle persone di evitare urti contro ostacoli o comunque di evitare situazioni di pericolo.

La classificazione viene effettuata in base a tre caratteristiche specifiche e determinanti della segnaletica: la forma, il colore e l'ambito di applicazione.

Non solo la legge promuove la presenza in azienda e sulle macchine di una cartellonistica adeguata, ma la stessa punisce chi adotta una cartellonistica confusionaria, non conforme alle misure indicate nel "Documento di Valutazione dei Rischi". Sono molti a credere che l'abbondanza di cartelli di vario genere (scelti e posizionati con il criterio della... fantasia) e posti in punti inadatti, possa creare una "presunzione assoluta di adempimento al D.lgs. n. 81/08", a prova di multa o di infortunio. La realtà è ben diversa: anche il posizionamento della cartellonistica deve essere ben valutato ed effettuato da personale esperto.

## Normative specifiche per le macchine agricole

Il D.lgs. n. 81/08 impone che ai mezzi semoventi agricoli di costruzione meno recente vengano apportate modifiche tali da adeguarli ai requisiti di sicurezza. Inoltre, i conduttori di macchine agricole devono essere in possesso di una specifica abilitazione professionale.

Infine, una specifica normativa comunitaria prevede che i mezzi agricoli siano periodicamente sottoposti a revisione. Per questi tre aspetti si vedano gli Approfondimenti nei relativi box.



Figura 6.8. Maschera per la protezione individuale (DPI) da utilizzarsi durante i trattamenti parassitari.

SEGNALE DI DIVIETO	SEGNALE DI AVVERTIMENTO	SEGNALE DI PRESCRIZIONE	SEGNALE DI SICUREZZA O SOCCORSO	SEGNALE ATTREZZATURE ANTINCENDIO	CARTELLI SUPPLEMENTARI
Non rimuovere la protezione	Pericolo elettrico	Protezione vie respiratorie obbligatoria	Cassetta di pronto soccorso	Estintore	Segnalazione ostacolo

Figura 6.9. Esempi di cartelli per la tutela dei lavoratori nell'ambiente di lavoro.



## Allegato V del D.lgs. n. 81/1986

DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ DEGLI INTERVENTI TECNICI PER L'ADEGUAMENTO AI PERTINENTI REQUISITI DI SICUREZZA DI CUI ALL'ALLEGATO V AL D.LGS. 81/2008.

Il sottoscritto \_\_\_\_\_  
titolare della ditta \_\_\_\_\_  
con sede legale in \_\_\_\_\_

DICHIARA CHE

sono stati eseguiti i seguenti interventi tecnici:

■ Protezioni di elementi mobili (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Protezione di parti calde (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Zavorre (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Silenziatore (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Accesso al posto di guida (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Comandi (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Parabrezza e altri vetri (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Sedile del conducente (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Sedile del passeggero (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Dispositivo retrovisore (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Tergicristallo (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Dispositivi di illuminazione (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Segnalatore acustico (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Batteria (specificare l'intervento/i)

\_\_\_\_\_

■ Cofani del motore e parafanghi (specificare intervento/i)

\_\_\_\_\_

## Abilitazione alla conduzione di trattori agricole o forestali a ruote o cingoli

Dal 1/1/2018 per utilizzare una macchina agricola non è più sufficiente il possesso della patente di guida di tipo A o B, ma è obbligatorio conseguire il cosiddetto "patentino" che attesta la professionalità nell'uso corretto del mezzo e pone l'attenzione sui rischi e l'incolumità delle persone. Il patentino è obbligatorio per le seguenti categorie: datore di lavoro, coadiuvante familiare, lavoratore dipendente, coltivatore diretto e socio di cooperativa agricola. Per il suo conseguimento occorre frequentare un corso

che si articola su una parte giuridica, una teorica e una pratica. Gli organismi autorizzati a organizzare tali corsi sono diversi: Ministero del lavoro, INAIL, Regione, Centri per l'impiego e le Organizzazioni agricole attraverso i loro centri di formazione. Attenzione! In caso di infortunio la prima cosa che INAIL controlla è se il conducente del mezzo era in possesso dell'apposita abilitazione. Sul datore di lavoro ricadono grandi responsabilità, fino a rispondere nei casi più gravi, anche in sede penale.

## La circolazione su strada delle macchine agricole

I trattori possono circolare su strada per due motivi: 1) per il proprio trasferimento; 2) in servizio a traino.

Durante la marcia su strada è necessario possedere i seguenti documenti: patente di guida, carta di circolazione della trattoria e del rimorchio, assicurazione del mezzo.

Il trattore deve essere provvisto di: targa, struttura di protezione antiribaltamento, fanaleria efficiente (comprensiva del lampeggiante a luce gialla) e il conducente deve avere le cinture di sicurezza allacciate. Il rimorchio deve avere il proprio numero di targa e riportare la targa ripetitiva della trattoria. La velocità massima consentita è di 40 km orari per i trattori a ruote e di 15 km orari per le trattorie cingolate gommate.

Con la patente di tipo A1, a 16 anni si possono guidare macchine medio-piccole, la cui sagoma non superi le seguenti dimensioni: 1,4 m di larghezza; 4 m di lunghezza; 2,5 m di altezza; massa complessiva non superiore a 2,5 t. La patente B abilita invece all'uso di tutte le macchine agricole.

Recentemente sono state apportate modifiche al Codice della Strada (CdS) per renderlo adeguato ai tempi.

Precisamente sono stati emendati i seguenti articoli:

■ Art. 110, anche i privati cittadini (*hobby farmer*), pur non possedendo la partita IVA, possono circolare su strada con i propri mezzi agricoli assicurati;

■ Art. 105, la lunghezza del convoglio agricolo (macchina semovente + macchina agricola trainata) è stata aumentata da 16,5 m a 18,75 m, per assecondare le esigenze agronomiche: in questo modo, ad esempio, le grandi mietitrebbie possono trainare su strada il carrello portabarra;

■ Art. 60, viene istituito il Registro storico e collezionistico d'epoca delle trattorie, al quale possono essere iscritte dopo almeno 40 anni dall'immatricolazione.

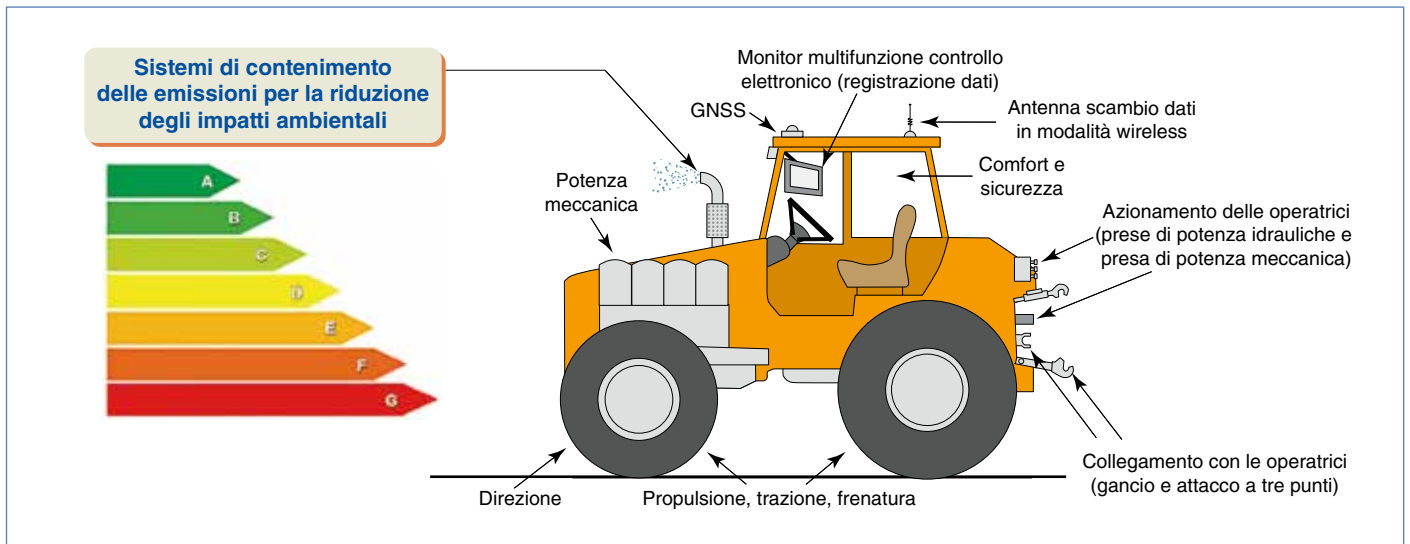
Un contributo importante all'aggiornamento del CdS l'ha avuto FederUnacoma la federazione nazionale costruttori macchine per l'agricoltura.

## 2 Meccanica agraria: la trattrice

Obiettivo operativo dei trattori è quello di assicurare il funzionamento continuo e affidabile delle operatrici svolgendo le funzioni indicate in **Figura 6.10**. La principale funzione svolta, quindi, è quella di rendere disponibile alle macchine operatrici accoppiate potenza sufficiente per il loro funzionamento sotto forma di forza di trazione, coppia, pressione idraulica, differenza di potenziale elettrico. Ciò assicurando nel contempo sicurezza e comfort all'operatore.

Il trattore deve inoltre garantire un adeguato monitoraggio dell'efficienza del suo lavoro e di quello delle macchine a esso collegate, dominandone le eventuali funzioni elettroniche di controllo automatico e trasferendo dati e informazioni verso il sistema informativo aziendale e/o, per garantire funzioni di assistenza tecnica, verso altri utenti di più ampia rete.

Infine, deve assicurare un elevato livello di sostenibilità contenendo emissioni e altre forme di effetti che impattino negativamente sull'ambiente.



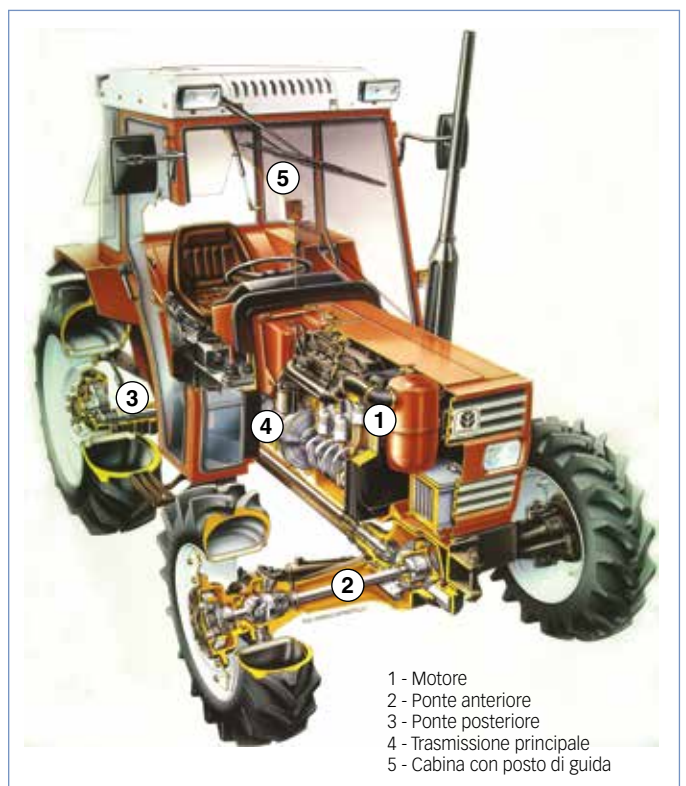
**Figura 6.10.** Funzioni del trattore e associazione dei vari sistemi di controllo e operatività.

### Tipologie di trattore

I trattori sono macchine semoventi a ruote o cingoli che risultano essenzialmente costituiti da: motore, trasmissione, struttura portante, organi di propulsione, organi di direzione, organi di frenatura, organi di collegamento alle operatrici (gancio di traino, sollevatore e attacco a tre punti, distributore idraulico, connessioni impianto elettrico), posto di guida, dispositivi di illuminazione (**Fig. 6.11**). Per quanto riguarda le tipologie costruttive (vedi schede di approfondimento) abbiamo **trattori a due** o **quattro ruote**, oppure **a cingoli** (**Fig. 6.12**). Tra quelli a quattro ruote si distinguono a **2RM** (2 Ruote Motrici, con potenza inferiore a 100 kW, non adatti a trazione) o a **Trazione Integrale** (4 ruote motrici, con tutte le ruote motrici sempre inserite) o **DT** (Doppia Trazione, con 2 ruote motrici sempre inserite e 2 inseribili al bisogno).

Tra quelli a trazione integrale, nel seguito assimilati a quelli 4RM che sono i più diffusi, abbiamo macchine (a ruote con diametro differenziato o isodiametriche) con potenza: inferiore a 35 kW di impiego generico; potenza da 35-100 kW, multifunzionali; sopra i 100 kW, specializzati per la trazione.

Tra quelli a cingoli, si distinguono quelli con cingoli in acciaio (potenza inferiore ai 100 kW) o in gomma (potenza superiore ai 100 kW). Nella categoria multifunzionali si hanno versioni frutteto-vigneto, specializzati per la montagna, oltre che, anche se meno diffusi, transporter e portattrezzi.



**Figura 6.11.** Schema di un trattore a 4 ruote motrici.



A causa della non corrispondenza tra ciclo termodinamico teorico e ciclo reale (ciclo indicato) – determinata dalle imperfezioni di apertura e chiusura delle valvole e del comportamento reale dei gas diverso da quello ideale – non è possibile raggiungere i **rendimenti massimi teorici** che dovrebbero essere superiori al 45%.

In realtà i motori Diesel veloci attualmente impiegati in agricoltura – in contrapposizione a quelli lenti di maggiore potenza impiegati in altri settori – lavorano con rendimenti massimi dell'ordine del 35-40%. La maggior parte del calore sviluppato (in percentuale il complemento a 100 del rendimento), quindi, non è trasformato in energia meccanica ma deve essere eliminato attraverso i gas di scarico o il sistema di raffreddamento (Fig. 6.15).

Quest'ultimo può prevedere l'impiego di aria insufflata tramite una ventola direttamente sui cilindri (raffreddamento ad aria) oppure l'impiego come fluido di scambio di un liquido (in genere acqua, da cui la definizione di raffreddamento ad acqua) in continuo riciclo fra i cilindri; in questo secondo caso il fluido porta il calore in eccesso al radiatore, dove viene smaltito all'aria con l'ausilio della ventola.

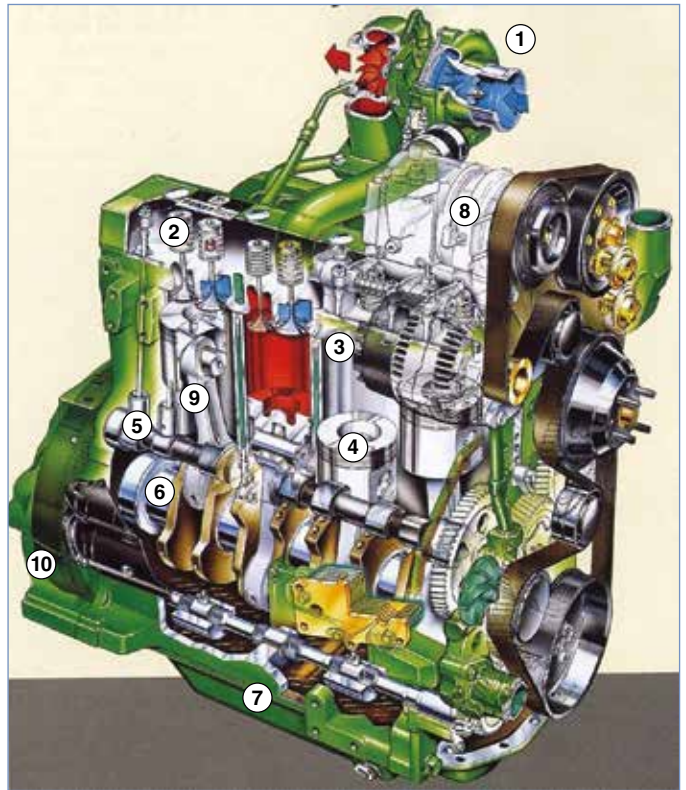
Rispetto alla soluzione convenzionale di motori in cui, come visto, l'aria viene aspirata dal pistone nella camera di combustione durante la prima fase del ciclo, migliori utilizzazioni dell'energia del combustibile si ottengono con l'impiego di motori sovralimentati nei quali, cioè, l'aria viene immessa sotto pressione all'interno della stessa camera.

Ciò si realizza grazie all'impiego di un compressore a pistoni o, molto più comunemente, di un turbocompressore.

Questi motori vengono anche offerti dal mercato nelle versioni con scambiatore di calore interno, versioni nelle quali l'aria viene raffreddata prima di essere inviata alla camera di combustione in modo da incrementarne ulteriormente la densità.

Con queste macchine si realizza la possibilità di alimentare nella camera di combustione, a parità di volume, una maggiore massa di aria e, conseguentemente, di bruciare una maggiore quantità di combustibile per ciclo.

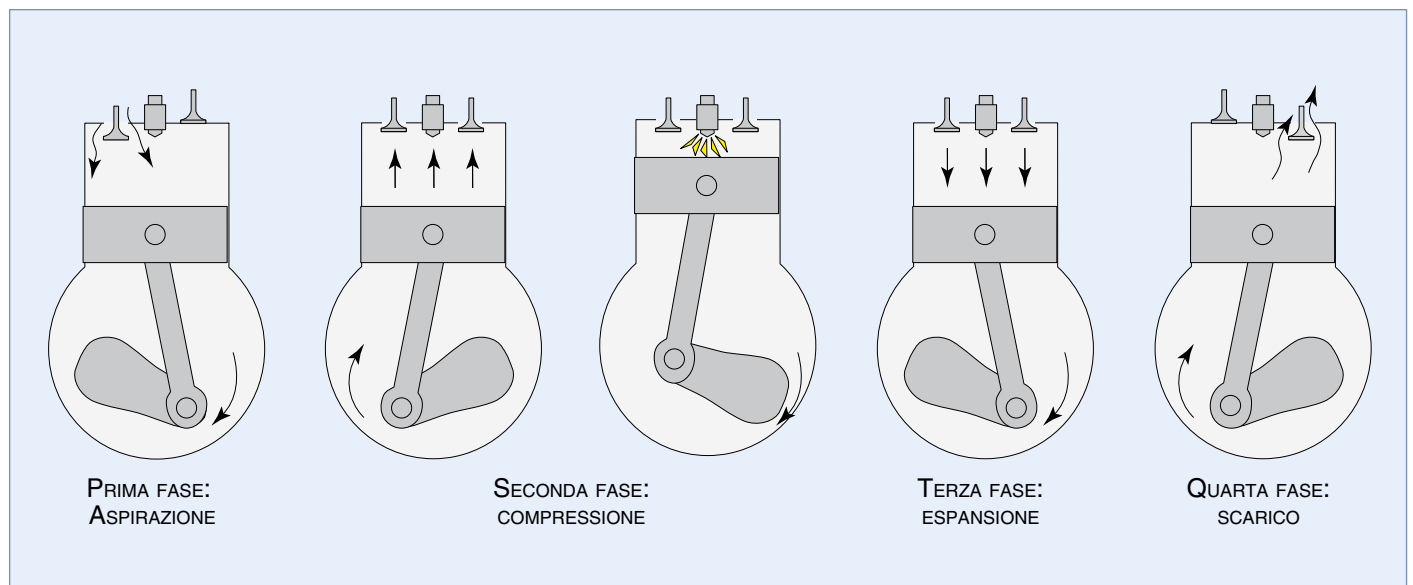
Le caratteristiche di questi motori risultano incrementate, in termini di potenza specifica e di pressione media effettiva che si misura all'interno della camera di combustione, secondo i valori indicati in **Tabella 6.5**. Da ciò la possibilità di ottenere motori più leggeri e con minori consumi.



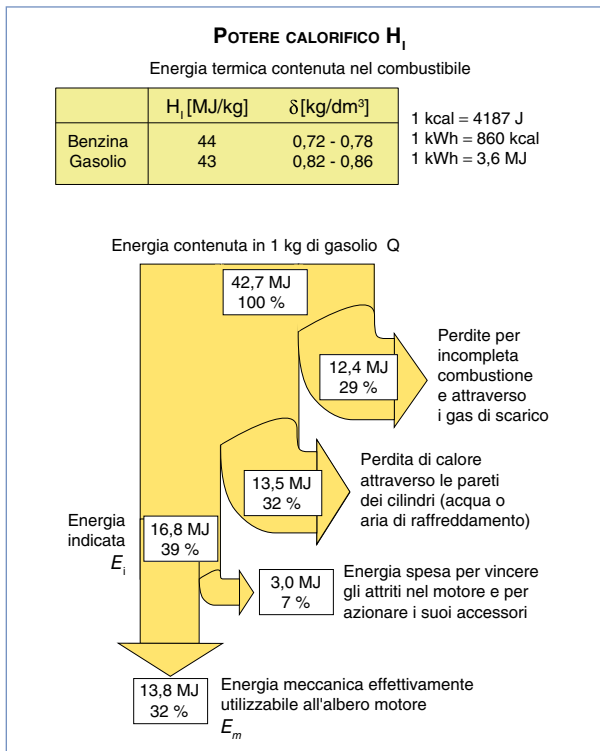
**Figura 6.13.** Schema che rappresenta lo spaccato di un motore Diesel a 4 cilindri per un trattore di media potenza.

1 - Turbocompressore  
2 - Valvole  
3 - Cilindro  
4 - Pistone

5 - Albero distribuzione  
6 - Albero motore  
7 - Coppa dell'olio  
8 - Alternatore  
9 - Biella  
10 - Volano



**Figura 6.14.** Fasi di funzionamento di un motore a ciclo Diesel.



TIPO MOTORE	POTENZA SPECIFICA		PRESSIONE MEDIA EFFETTIVA
	[kW/l]	[%]	[bar]
Diesel aspirato	11-16	100	6,0-8,5
Diesel turbocompresso	14-19	120-130	7,2-9,5
Diesel turbocompresso intercooler	20-22	135-170	10,5-11,5

Tabella 6.5. Caratteristiche dei motori Diesel con allestimenti differenti.

Figura 6.15. Diagramma di flusso dell'energia in un motore Diesel.

## Iniezione common rail

Nei motori a iniezione diretta tradizionali, una pompa ad alta pressione (a pistoni in linea o rotativa) alimenta singolarmente in momenti successivi gli iniettori ad apertura meccanica. Essi si aprono grazie alla pressione esercitata dal combustibile su un corpo conico che ottura l'orifizio di nebulizzazione.

La pressione vince la forza della molla (tarata da 200 a 800 bar) che mantiene l'asta in posizione di chiusura e l'apertura è quindi idraulicamente determinata dalla pompa di iniezione.

Il sistema **condotto comune** (Fig. 6.16) invece, è caratterizzato dalla presenza di una pompa a bassa pressione con, in serie, un'ulteriore pompa ad alta pressione, un condotto comune di accumulo del combustibile ad alta pressione (da 300 al minimo a 3.000 bar al massimo a pieno carico) ed elettroiniettori come quelli nella Figura 6.17 che si aprono grazie a un solenoide sottoposto a comando elettronico. In questo modo la gestione della

pressione e del tempo di iniezione sono svincolate tra di loro, permettendo grande flessibilità di funzionamento. Ad esempio, è possibile ottenere anche più iniezioni per ogni ciclo di lavoro.

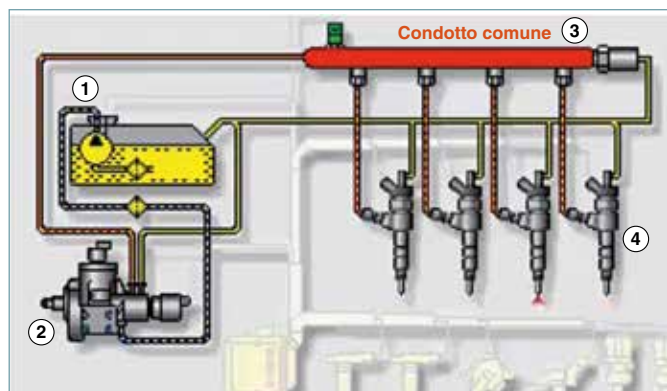


Figura 6.16. Schema di funzionamento di un sistema a iniezione common rail: la pompa a bassa pressione gialla ① nel serbatoio del gasolio lo invia alla pompa ad alta pressione in basso a sinistra ②. Da qui il combustibile ad alta pressione viene mandato al collettore comune in rosso ③. I 4 elettroiniettori ④ (uno per cilindro) vengono comandati elettronicamente dalla centralina elettronica.

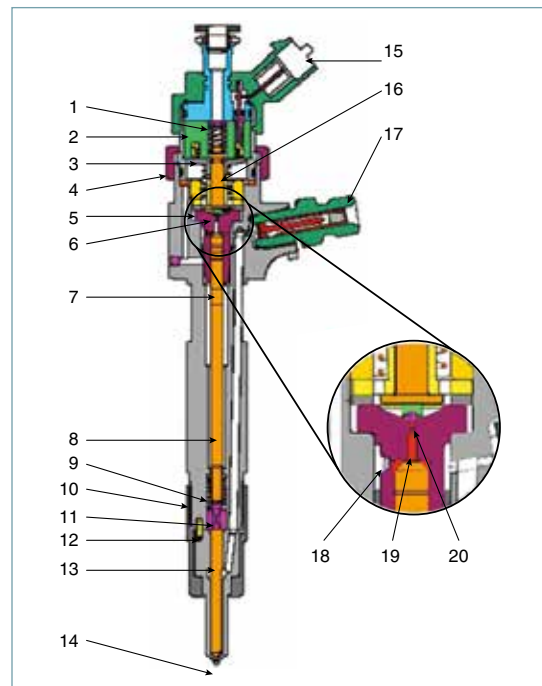


Figura 6.17.

- 1 - Molla
- 2 - Elettromagnete
- 3 - Ancora
- 4 - Ghiera
- 5 - Valvola
- 6 - Otturatore a sfera
- 7 - Asta di pressione
- 8 - Corpo
- 9 - Molla
- 10 - Dado di ritenzione
- 11 - Distanziale calibrato
- 12 - Grano di riferimento
- 13 - Polverizzatore: spina
- 14 - Ugello
- 15 - Connettore
- 16 - Pistoncino
- 17 - Raccordo
- 18 - Apertura laterale a farfalla
- 19 - Valvola
- 20 - Foro d'iniezione

## ✓ Esercizi

**E1.** Qual è l'elasticità di un motore con  $M_{n_{max}}$  di 230 Nm e  $M_{max}$  di 300 Nm?

**S1.**

$$\frac{M_{max} - M_{n_{max}}}{M_{n_{max}}} \cdot 100 = \frac{300 - 230}{230} \cdot 100 = 30,4\%$$

**E2.** Un motore viene utilizzato alla sua potenza massima di  $P_n = 100$  kW per un periodo  $t = 0,5$  h. Sapendo che il consumo specifico  $C_s$  di tale motore al regime di potenza massima è di 220 g/kWh, quanto gasolio  $C_{gas}$  verrà consumato in totale?

**S2.**  $C_{gas} = P_n \cdot t \cdot C_s = 100 \cdot 0,5 \cdot 220 = 11.000 \text{ g} = 11,0 \text{ (kg)}$

## Curve caratteristiche

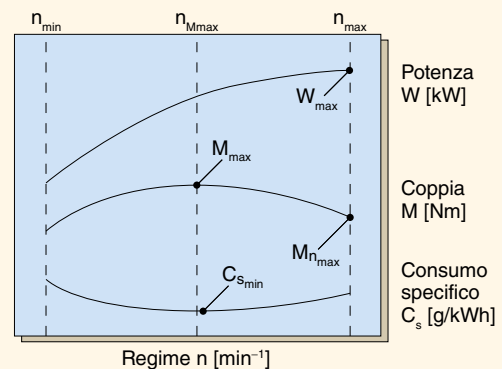
Le curve caratteristiche di un motore si ricavano a punto fisso a pieno carico (gas al massimo), facendo variare il regime di rotazione del motore tra un limite massimo e un minimo di funzionamento, misurando coppia, numero di giri e consumi. Dalla coppia e dal numero di giri si calcolano poi i valori di potenza e, dividendo i consumi per quest'ultima, i consumi specifici. Sulle ascisse leggiamo il valore relativo al regime del motore in giri/min. Sulle ordinate gli andamenti:

- **della coppia motrice (valori in Nm):** l'elasticità di un motore è data dalla differenza tra il valore della coppia massima e il valore della coppia al punto di potenza massima, rapportato con quello della coppia massima. Nei motori agricoli più recenti si possono raggiungere valori di **elasticità del 35-40%**. Un motore elastico è adatto a operare con carichi variabili, condizione normale in campo;
- **della potenza (valori in kW):** attraverso la gestione elettronica dell'iniezione, l'andamento dell'ultimo tratto di questa curva è realizzato in modo da mantenere costanti i valori di potenza (motori *constant power*) o addirittura, nel caso di alcuni utilizzi come i trasporti o l'impiego di p.d.p, per farli incrementare rispetto ai valori nominali (motori *extra power* o *power boost*). In questo modo si possono realizzare motori notevolmente elastici;
- **dei consumi specifici di gasolio (valori in g/kWh):** rappresentano il **consumo di gasolio per ogni unità di lavoro realizzato dal motore**. Più basso è il consumo specifico, maggiore è il rendimento termodinamico del motore, minori sono i costi variabili legati alla sua gestione. Il singolo motore presenta i valori di **consumo specifico minimo** per utilizzi compresi tra il regime di coppia massima e il regime di potenza massima. Sono questi i

limiti all'interno dei quali si deve andare ad operare per ottenere un utilizzo ottimale del motore.

La potenza massima e il regime a potenza massima sono in genere i dati più usati per la comunicazione commerciale. Su quest'ultima si possono trovare per la potenza massima più dati, in genere due: quelli della potenza SAE lorda e della potenza DIN (70020). Essi possono differire anche del 15% in quanto il primo valore è relativo alla potenza misurata escludendo una serie di componenti del motore ed è sempre superiore al secondo. Si deve fare attenzione che il confronto delle potenze di più motori venga effettuato utilizzando dati provenienti da prove effettuate seguendo la stessa norma. In **Tabella 6.6** sono riportate le diverse condizioni di prova definite dalle norme più in uso.

### CURVE CARATTERISTICHE DI UN GENERICO MOTORE DIESEL



**Figura 6.18.** Rappresentazione concettuale di come viene eseguita la prova al freno dinamometrico di un motore Diesel montato su un trattore.

TITOLO DELLA NORMA	VENTILATORE E RADIATORE	FILTRO ARIA	SCARICO	TEMPERATURA [°C]	PRESSIONE [MM Hg]
DIN 70020	Si	Si	Si	20	760
DIN 6270	Si	No	No	20	736
British std.	No	Si	Si	29,4	736
SAE: lorda	No	A richiesta	No	29,4	736
SAE: netta	Si	Si	Si	29,4	736
IGM/CUNA	Si	Si	Si	15	760

**Tabella 6.6.** Condizioni di prova dettate dalle diverse normative.

## Sistemi per la riduzione degli inquinanti nei gas di scarico

Il gasolio è costituito da atomi di idrogeno e carbonio che, con l'aggiunta dell'ossigeno presente nell'aria, nei motori dovrebbero teoricamente bruciare completamente e dare solo anidride carbonica e acqua.

Purtroppo la reazione difficilmente si completa e quindi i gas di scarico dei motori inquinano a causa della presenza di elementi incombusti. In più c'è il problema dell'azoto presente nell'aria per circa il 78%. In teoria non dovrebbe dar luogo a reazioni, ma in pratica, in presenza di alte temperature, l'azoto tende a unirsi all'ossigeno per dare origine a vari ossidi indicati con la sigla "NOx".

Di fatto, quindi, dallo scarico escono come ci si aspetterebbe anidride carbonica e acqua, che non sono inquinanti, alle quali tuttavia si aggiungono elementi indesiderati come gli incombusti (monossido di carbonio (CO) e idrocarburi sotto forma di gas (HC) e particolato (PM)) e gli ossidi di azoto. Ciò, oltre a una serie di altri inquinanti minori legati e alle impurità del gasolio e agli additivi che gli vengono aggiunti per migliorarne le caratteristiche chimiche. Per obbligare i costruttori a immettere sul mercato motori sempre "più puliti", dai primi anni '90 del secolo scorso sono state proposte in Europa e Stati Uniti norme anti-inquinamento (Fig. 6.19).

Nel settore automobilistico queste hanno portato alle diverse versioni di motori fino alla Euro 6, per le automobili e i veicoli commerciali leggeri, ed Euro IV, per quelli commerciali pesanti. In campo agricolo, e più in generale nell'*off-road*, le normative europee vennero invece chiamate "Stage", in italiano "Stadio" o "Fase", e a partire dal 2014 sono approdate alla versione "Stage IV" che, al momento, dovrebbero rappresentare il punto di arrivo del settore. Le norme americane sono arrivate all'analoga versione "Tier5Final" (Fig. 6.20).

Esattamente come le Euro 6 e Euro IV esse fissano limiti quantitativi per ogni singola emissione inquinante. Dal 2016 sono venduti solo veicoli Diesel allineati con queste norme, con l'unica eccezione costituita dai piccoli motori di potenza inferiore ai 37 kW, le cui emissioni dovranno rispettare solo le norme "Stage III B".

Va precisato a questo punto che le norme attuali e future non impongono ai costruttori obblighi progettuali specifici, ma solo il rispetto dei limiti di emissione. Ogni costruttore è quindi libero di equipaggiare con le soluzioni costruttive a lui più congeniali.

I sistemi EGR (Riciclo gas esausti) (Fig. 6.21a) e SCR (Riduzione catalitico-selettiva) (Fig. 6.21b) rappresentano attualmente le due più diffuse metodologie di controllo delle emissioni prodotte dai motori Diesel.

Negli EGR il motore è portato a ri aspirare una frazione dei propri gas di scarico così da diminuire la quantità di aria "fresca" presente nel cilindro. Cala di conseguenza la percentuale di ossigeno che può bruciare rispetto a quella dei gas inerti (azoto e anidride carbonica *in primis*) che non bruciano, ma assorbono calore per salire di temperatura.

Questa doppia concomitanza abbassa le temperature massime locali, senza ridurre più di tanto quelle medie. Poiché la percentuale delle emissioni azotate presenti nei gas di scarico dipende proprio dalle temperature massime locali raggiunte in fase di combustione, è facile capire che abbattendo queste ultime, si limitano anche le prime.

L'obiettivo preposto viene quindi raggiunto, fermo restando però che in campo motoristico i miracoli non li fa nessuno e la riduzione delle emissioni azotate indotta dai sistemi EGR non è gratuita.

Le più basse temperature e la maggiore difficoltà a incontrarsi tra il combustibile e l'ossigeno comportano automaticamente un allungamento della combustione, una diminuzione dei rendimenti e una maggiore produzione di particolato.

Dato che anche quest'ultimo è regolamentato, si è costretti ad adottare specifiche misure di abbattimento. Da qui il fiorire di filtri secondari, tra i quali spiccano i filtri antiparticolato, che vanno comunque montati sullo scarico con annesse esigenze di rigenerazione.

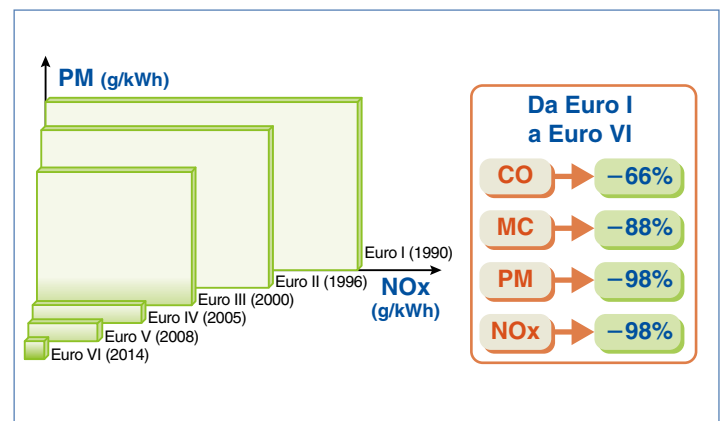


Figura 6.19. Grazie alle varie normative è drastica la riduzione delle emissioni azotate e di particolato prodotte dai motori. Gli inquinanti dei motori più recenti risultano percentualmente quasi azzerati.

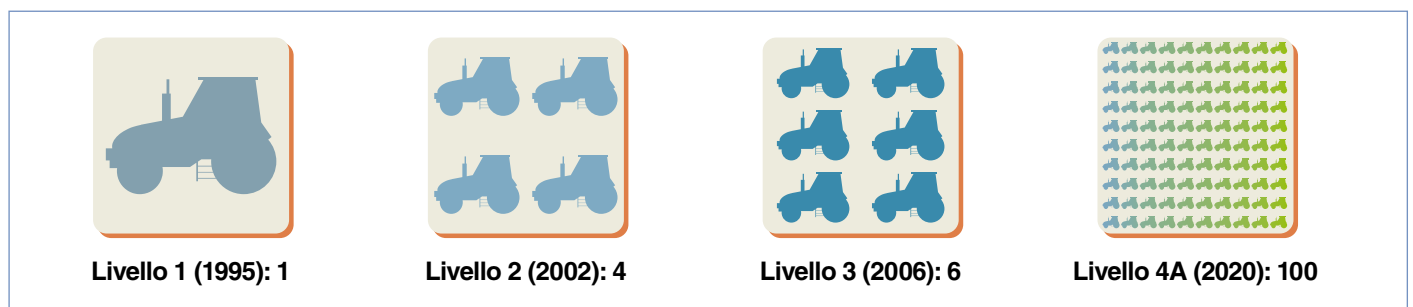


Figura 6.20. Un solo trattore costruito prima del 1995 inquina come cento costruiti nel 2020.

I **motori alternativi (SCR)** sono caratterizzati dalla “riduzione selettiva catalitica”, tre vocaboli che nel loro insieme spiegano compiutamente le finalità del sistema.

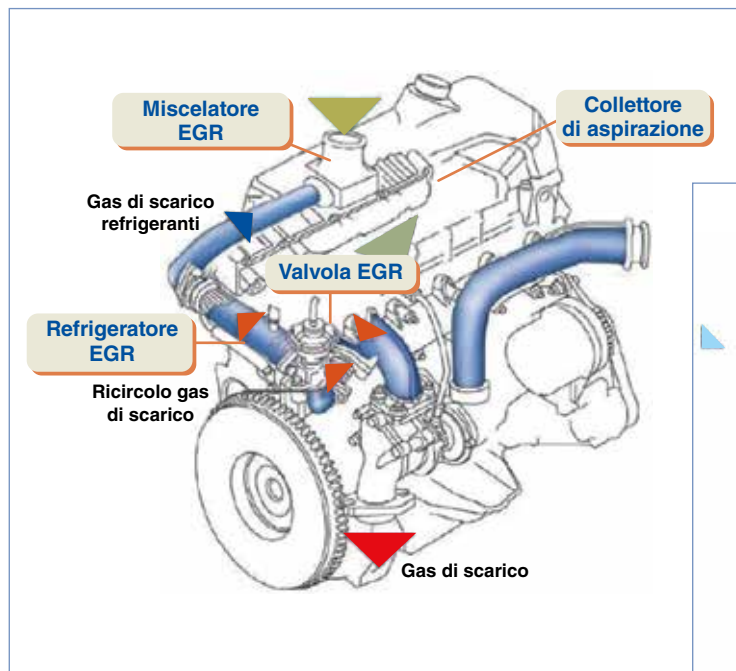
I vocaboli “riduzione” e “selettiva” sono in effetti riferiti al fatto che il sistema è preposto all’abbattimento dei composti azotati presenti nei gas di scarico dei motori a combustione interna e solo di quelli, non di altri composti inquinanti.

La parola “catalitica” spiega invece che il processo è accelerato da un catalizzatore, generalmente costituito da strati di vanadio depositati su una struttura ceramica attraverso la quale vengono fatti filtrare i gas di scarico.

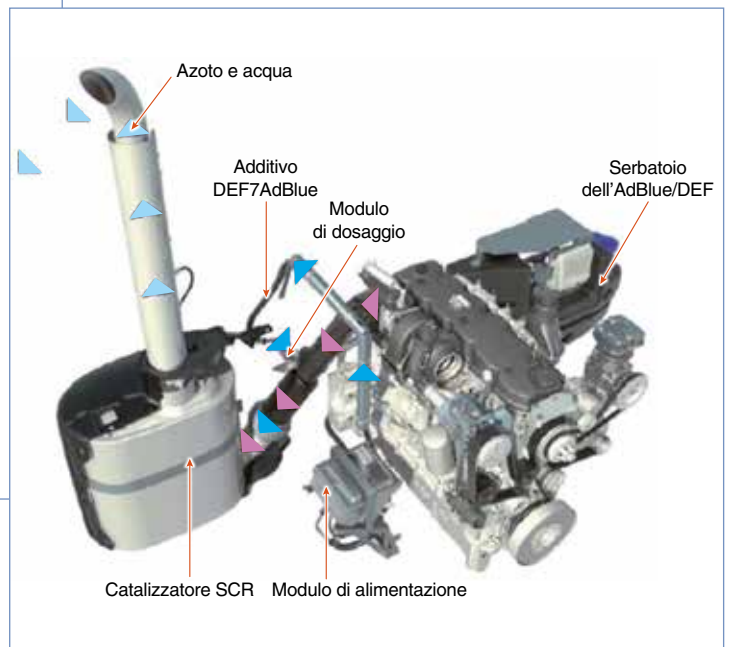
Prima di accedere a tale gruppo, però, i gas sono fatti preventivamente passare in un miscelatore che ne aumenta la turbolenza nebulizzando anche al loro interno una piccola quota di “urea”.

È un sistema concettualmente semplice, nel senso che si tratta di “spruzzare” un po’ d’acqua miscelata con urea all’interno di un tubo in cui passano i gas di scarico, ma complesso nella realizzazione in quanto la “spruzzata” deve essere effettuata con modalità molto precise che solo un’iniezione pilotata elettronicamente può garantire.

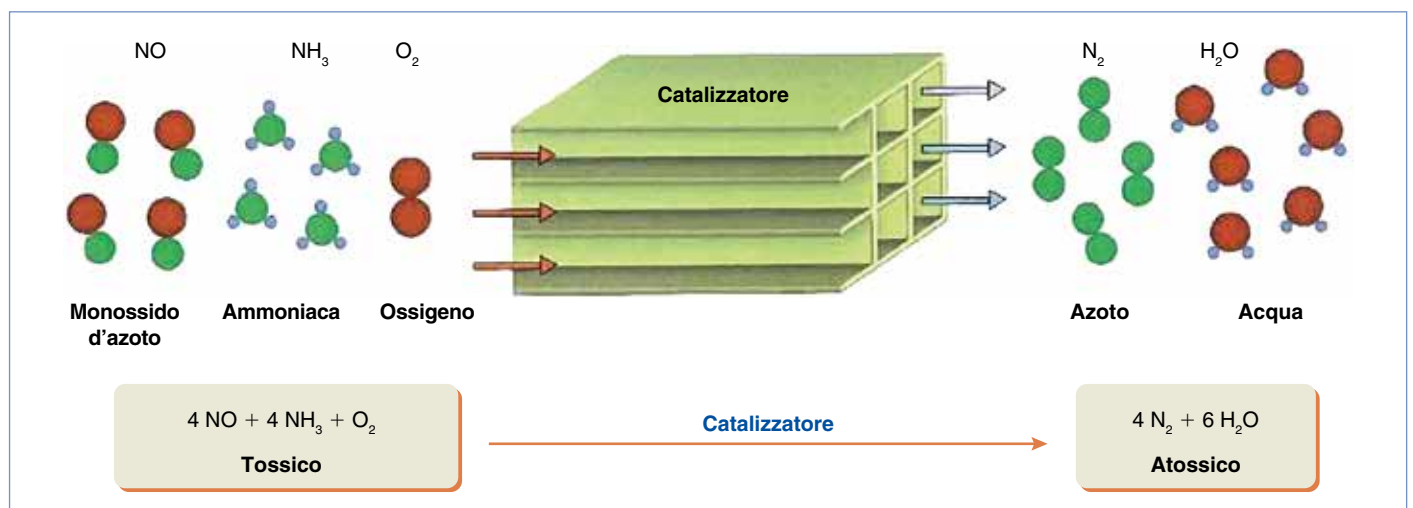
Da qui la necessità di prevedere un impianto di iniezione ausiliario, la cui presenza va a incidere sui costi di produzio-



**Figura 6.21a.** Schema di un sistema EGR refrigerato. In azzurro l'aria di aspirazione e in viola le frecce relative al flusso del gas di scarico.



**Figura 6.21b.** Schema di un sistema SCR. L'additivo è urea in una formulazione più pura di quella impiegata come fertilizzante.



**Figura 6.22.** SCR - Riduzione catalitica selettiva. Funzionamento del catalizzatore.



ne del motore, imponendo anche la necessità di prevedere a bordo macchina un serbatoio in cui stoccare il composto acqua-urea.

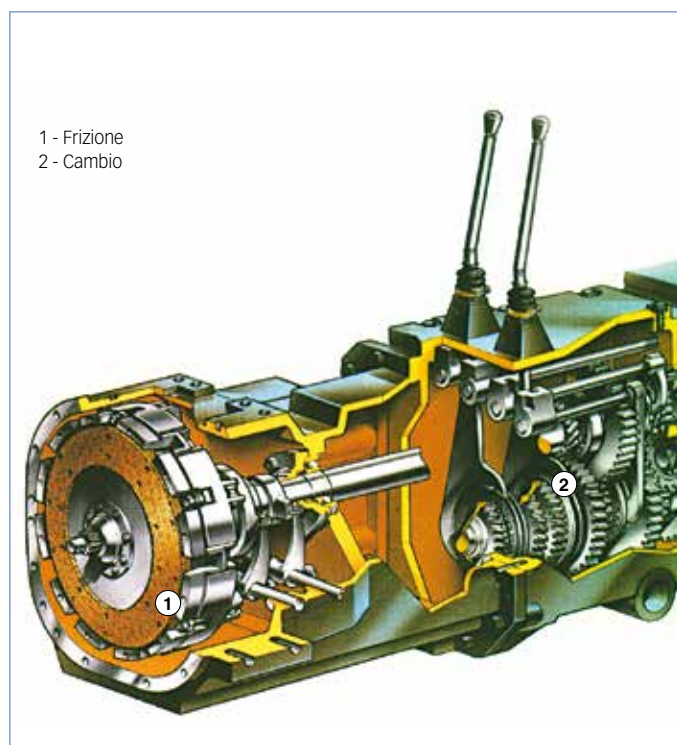
Lo stesso composto, inoltre, ha un costo che si somma ai tradizionali costi indotti dai consumi del gasolio, negatività che viene però ampiamente bilanciata dal fatto che i consumi di gasolio, proprio grazie alla presenza del sistema SCR, risultano inferiori a quelli che lo stesso motore avrebbe se fosse equipaggiato con sistemi ECR che comportano una riduzione dei rendimenti.

Il sistema SCR, infine, consente di contenere le dimensioni dei filtri secondari, pur imponendo la presenza di un filtro di pulizia del catalizzatore, preposto a bloccare le emissioni dell'ammoniaca presente nell'urea che non ha interagito con i gas di scarico.

## Trasmissione

A valle del motore, per trasmettere la coppia ai differenti organi di lavoro, è necessario che vengano montati opportuni **organi di trasmissione**. Su un trattore i compiti principali della trasmissione sono quelli di trasferire la potenza del motore alle ruote (per garantire l'autodislocamento del mezzo e sviluppare forza di trazione per trainare le operatrici) e alla p.d.p. (presa di potenza) per azionare gli organi rotanti delle operatrici.

Queste funzioni vengono tradizionalmente svolte da trasmissioni meccaniche. Per la trasmissione del moto alle ruote, classicamente si hanno i seguenti elementi fondamentali: la frizione, il cambio di velocità, il differenziale, i semiassi e le riduzioni finali.



**Figura 6.23.** Schema che mostra lo spaccato della frizione e di un cambio meccanico a ingranaggi di tipo classico.

La **frizione** è l'elemento con rapporto di trasmissione unitario che si trova tra il motore e il cambio e che stabilisce o interrompe il collegamento fra questi organi allo scopo di permettere il cambio di marcia. In genere è a funzionamento meccanico, del tipo monodisco a secco o a dischi multipli in bagno d'olio (Fig. 6.23).

Esistono anche frizioni idrauliche (giunti idraulici), che trasmettono il moto fra i due alberi attraverso due turbine riempite d'olio; l'innesto è più dolce (protezione degli ingranaggi del cambio) ed è possibile frenare o anche fermare le ruote e, quindi, ripartire senza schiacciare la frizione (utile in lavori che richiedono frequenti arresti e partenze).

Il **cambio di velocità** a coppie di ingranaggi sempre in presa (solo in alcuni piccoli trattori è ancora del tipo a ingranaggi scorrevoli) è costituito da due alberi, il conduttore e il condotto.

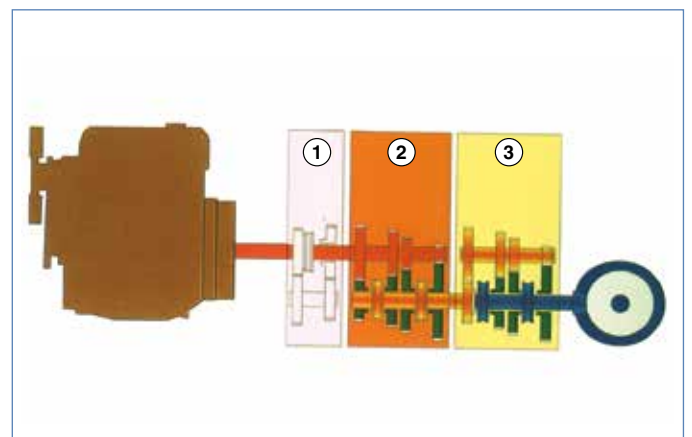
Gli ingranaggi dell'albero primario (conduttori) sono fissati all'albero e girano con il medesimo regime.

Quelli del secondario (condotti) sono liberi di ruotare rispetto all'albero secondario al quale tuttavia possono essere resi solidali attraverso appositi manicotti di selezione comandati dalla leva del cambio. Quando ciò accade i due ingranaggi (superiore e inferiore) si innestano, il condotto fa girare il conduttore, la coppia viene trasmessa dal primario al secondario.

Il cambio tradizionale è diviso in due sezioni (cambio principale delle marce e cambio delle riduzioni o delle gamme), ognuna comandata da un'apposita leva (Fig. 6.24, sez. 2 e 3).

Nel cambio principale il collegamento viene tipicamente attuato da 4 coppie di ingranaggi con diverso rapporto di riduzione, che costituiscono le marce del cambio base: la, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e retromarcia.

Nella seconda sezione, con 3 coppie di ingranaggi di riduzione, si realizzano la cosiddette gamme (ridotta, media e veloce). Si ha così un cambio con 4 3 5 12 velocità. La variazione del rapporto di trasmissione è discontinua; la velocità di avanzamento varia però, all'interno di una singola marcia, in funzione del regime del motore.



**Figura 6.24.** Sezioni di un cambio.  
1 - Sezione dell'inversore e/o del superiduttore.  
2 - Sezione delle marce del cambio principale.  
3 - Sezione delle gamme.

Il **differenziale** è costituito da una scatola, solidale alla corona di una coppia conica, che contiene 2 planetari (fissati sui semiassi) e 2 satelliti (folli su perni fissati alla scatola Fig. 6.25).

Durante tragitti rettilinei, quando la coppia richiesta è identica sui due semiassi, i satelliti rimangono immobili. In curva essi ruotano con senso di rotazione opposto. In questo modo la velocità periferica della ruota interna risulta minore di quella della ruota esterna.

Con il bloccaggio del differenziale si evita che quando una ruota perde aderenza (perché slitta su terreno scivoloso o su ghiaccio) l'altra non sviluppi più nessuna coppia e il mezzo non sia più in grado di procedere. Sempre più diffusi sono i comandi di bloccaggio e sbloccaggio automatici del differenziale controllati da sensori di coppia e numero di giri delle ruote.

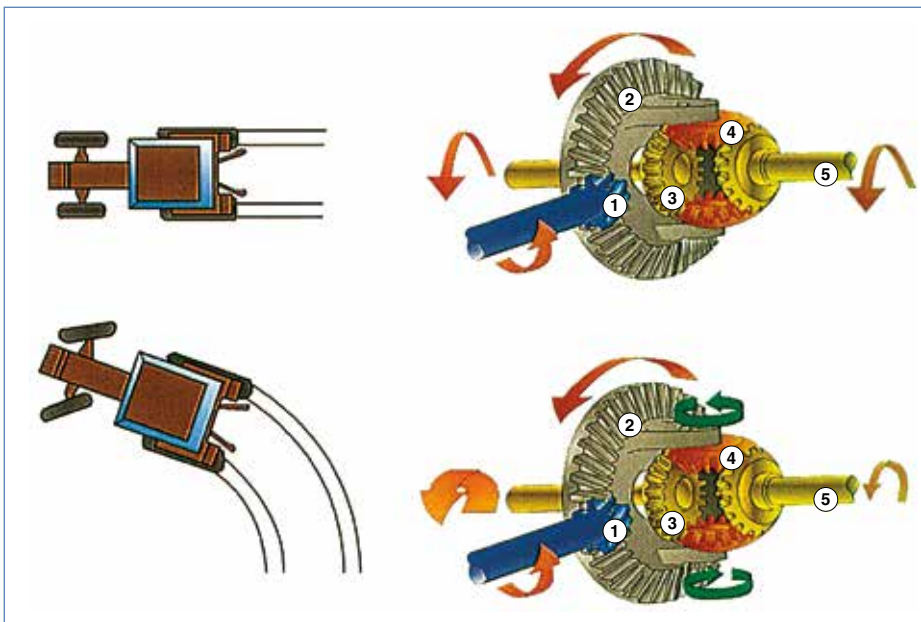
I semiassi e riduzione finale, montati a valle del differenziale e prima delle ruote, possono essere a ingranaggi in cascata o, sempre più spesso, a riduttori epicicloidali. Servono a ridurre ulteriormente il rapporto di trasmissione tra motore e ruote in modo da realizzare le velocità di avanzamento molto contenute tipiche del trattore.

Nelle trattatrici a doppia trazione, è presente anche un albero di trasmissione del moto all'assale anteriore che, in questo caso, è equipaggiato di differenziale e semiassi. A livello delle trasmissioni meccaniche del moto alle ruote si vanno diffondendo alcuni ulteriori elementi cui di seguito si accenna brevemente.

- **L'inversore** (Fig. 6.24, sez. 1) consente di invertire rapidamente la direzione di marcia senza intervenire sul cambio principale. Esso è costituito da due coppie di ingranaggi montati in una terza sezione del cambio ed è comandato da una ulteriore leva aggiuntiva. Partendo dal cambio classico con l'inversore si realizza un cambio a 2 3 4 3 3 5 24 marce di cui 12 in retromarcia. Esso è pressoché indispensabile per l'applicazione della guida retroversa.
- Il **super-riduttore**, anch'esso montato in una apposita sezione dedicata e associato a una apposita leva, raddop-

pia il numero di marce del cambio base e serve per ottenere velocità estremamente basse, indispensabili con alcuni particolari attrezzi: scavafossi, scavatrinnee, frantumapietre, carri raccolta frutta, frese da neve.

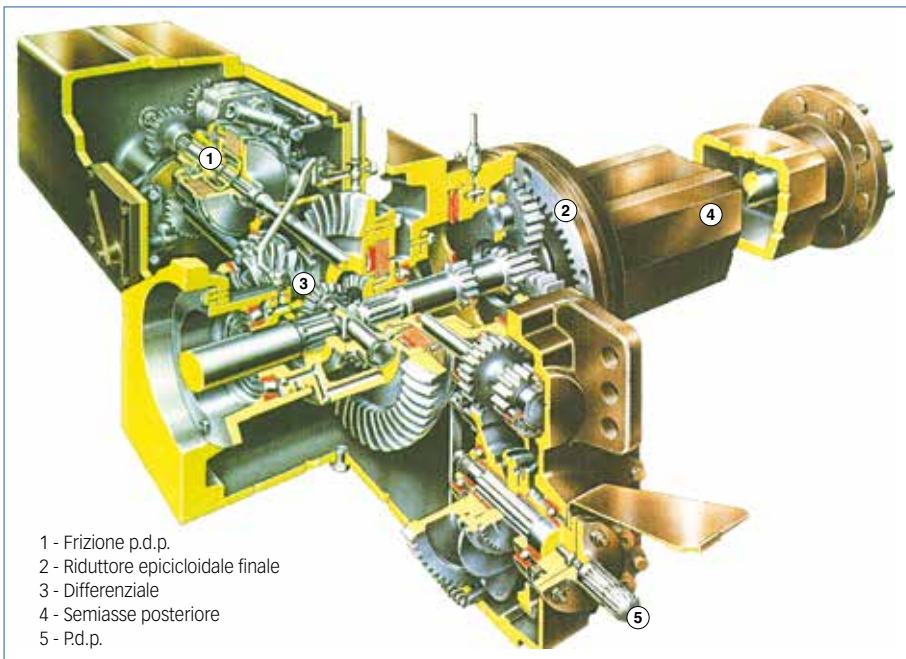
- I **riduttori sotto carico**, che prevedono di impiegare delle frizioni – montate non tra motore e cambio, bensì direttamente all'interno del cambio – in genere elettroidrauliche, comandate da un pulsante posto sulla leva principale del cambio. Le frizioni provvedono a innestare o disinnestare delle coppie di ingranaggi senza dover agire sul pedale della frizione principale.
- Nel caso del **cambio High Low** (Fig. 6.28) il sistema agisce su un riduttore supplementare che consente di incrementare (o diminuire) la velocità di ogni singola marcia di una determinata entità percentuale, differenziata nelle diverse case costruttrici. Tuttavia, con simili dispositivi, ancora si deve schiacciare la frizione per cambiare marcia o gamma. Nel caso dei cambi *semipowershift*, invece, le frizioni vengono montate tra tutti gli ingranaggi del cambio principale in modo che sia possibile scalare o incrementare le marce all'interno delle diverse gamme. Resta solo da premere la frizione per cambiare gamma. In entrambi i casi, il comando per azionare le frizioni elettroidrauliche è costituito da una coppia di pulsanti montati su una leva posta a fianco del trattorista.
- Il **Power Shift integrale** si basa su un cambio in cui tutti i rapporti sono controllati a mezzo di frizioni elettroidrauliche che disinnestano una coppia di ingranaggi nel medesimo istante in cui ne innestano un'altra. Il cambio è completamente meccanico e quindi i rendimenti di trasmissione sono elevati. Per contro la velocità non varia in modo perfettamente continuo, come avviene nei cambi misti meccanico-idraulici di cui si discuterà nel seguito, ma a scatti. Esistono anche soluzioni in cui il cambio avviene in modo completamente automatico, sulla base di sensori di coppia e di velocità che inviano le loro misure a un elaboratore, in modo da ottimizzare numero di giri e consumi del trattore in funzione delle prestazioni richieste (Fig. 6.29).



- **Cambi misti idraulico-meccanici** che presentano sia una componente idrostatica (pompa 1 motore o motori idraulici a pistoni assiali), sia una componente meccanica (un riduttore epicicloidale, Fig. 6.30). Ciò consente di realizzare una variazione continua della velocità (**CVT - Continuously Variable Transmission**). Sono quindi assenti dal trattore le serie di leve per il cambio delle marce.

**Figura 6.25.** Rappresentazione schematica del funzionamento di un differenziale.

- 1 - Pignone
- 2 - Corona
- 3 - Satellite
- 4 - Satellite planetario
- 5 - Semiassie



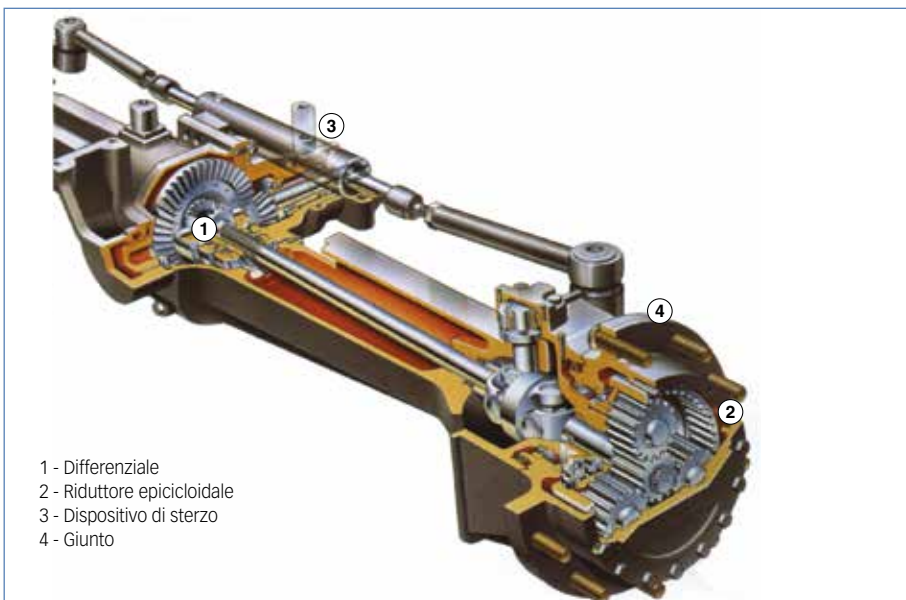
Tutte le funzioni di regolazione della velocità di avanzamento e del numero di giri, accelerazione, inversione di senso di marcia vengono concentrate in un'unica leva (*joystick*). Il tutto accade secondo una logica intuitiva per cui, spingendo in avanti la leva si aumenta la velocità, spingendola indietro si decelera, tirando completamente indietro si va in retromarcia.

Sulla medesima leva sono poi anche inseriti altri tasti funzione (collegati al computer di bordo) dedicati a gestire il controllo delle operazioni che devono essere compiute più frequentemente.

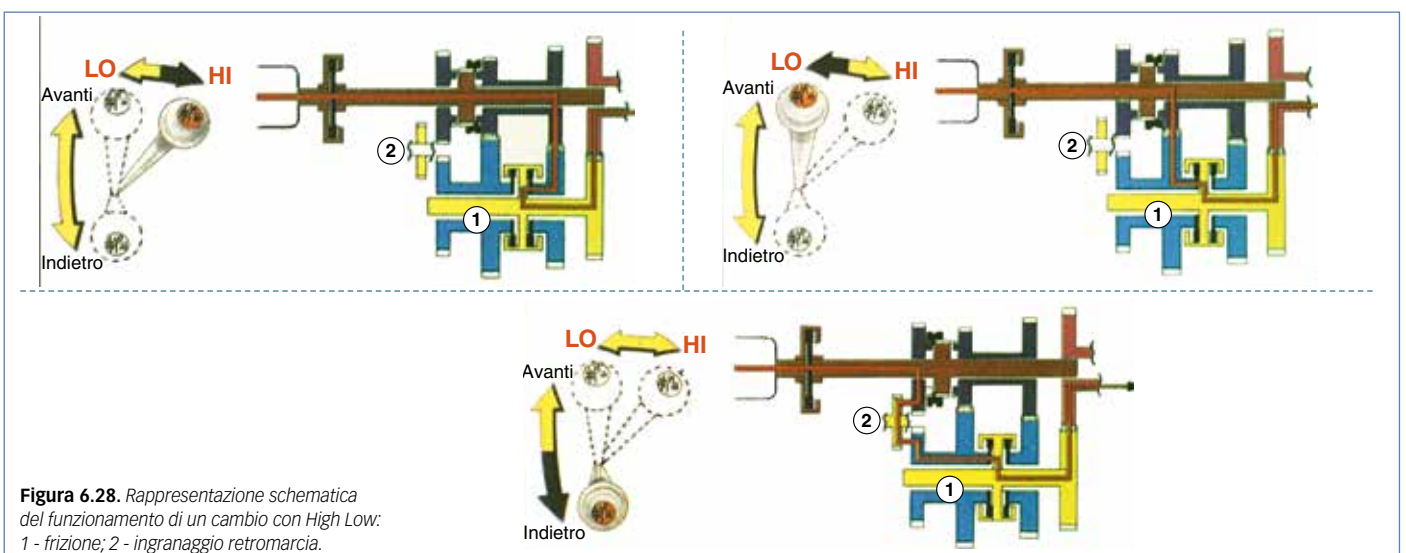
Per la trasmissione meccanica del moto alla p.d.p. è ormai universalmente utilizzata una trasmissione indipendente collegata per mezzo di una propria frizione a monte del cambio di velocità. Nei casi più diffusi, la trasmissione è semplice e utilizza un solo rapporto di riduzione per portare il numero di giri del motore (grossomodo 2.000 giri/min circa) fino a quello di 540 giri/min nominale della p.d.p. Ancor più semplice è la trasmissione nel caso delle p.d.p. a 1.000 giri/min, dove la riduzione è ancora meno rilevante.

Nel caso di scelta tra diversi regimi di rotazione esiste un cambio con più ingranaggi di riduzione. L'innesto può essere a comando meccanico oppure elettroidraulico tramite pulsanti o levette di vario tipo.

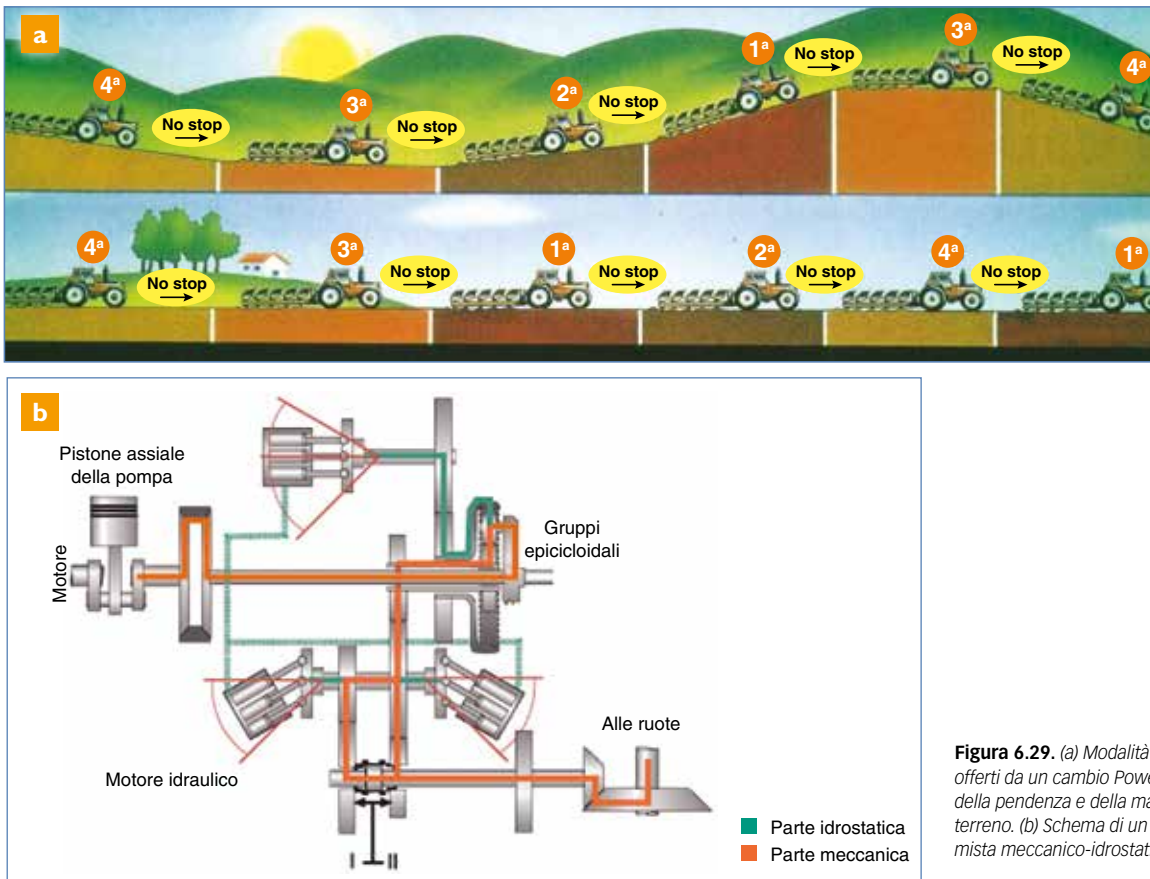
**Figura 6.26.** Schema con lo spaccato del ponte posteriore con: il differenziale, il freno a disco, il riduttore epicicloidale finale. In primo piano la p.d.p. con relativa trasmissione; in secondo piano la frizione indipendente.



**Figura 6.27.** Schema con lo spaccato del ponte anteriore motore con il differenziale e il riduttore epicicloidale finale.



**Figura 6.28.** Rappresentazione schematica del funzionamento di un cambio con High Low: 1 - frizione; 2 - ingranaggio retromarcia.



**Figura 6.29.** (a) Modalità di funzionamento e vantaggi offerti da un cambio Power Shift riguardo alla variazione della pendenza e della maggiore o minore tenacia del terreno. (b) Schema di un cambio CVT a trasmissione mista meccanico-idrostatica.

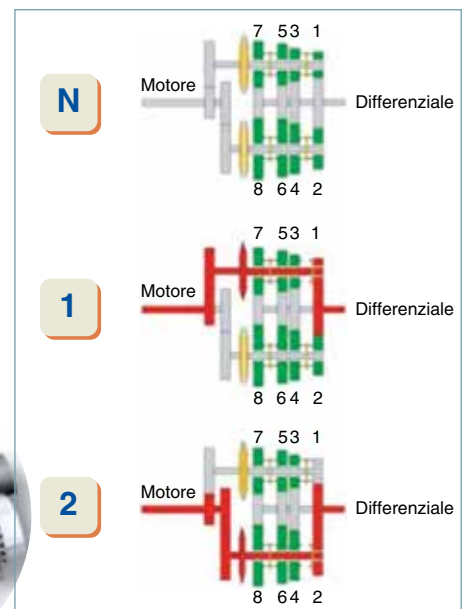
## Cambio a doppia frizione

Tutti gli accorgimenti tecnologici che hanno incrementato l'automatismo della trasmissione, portando ai cambi CVT, rendendo la guida più semplice e più confortevole e permettendo così all'operatore di concentrarsi maggiormente sulla qualità della lavorazione svolta, hanno come diretta conseguenza una riduzione dell'efficienza e un aumento dei consumi. Al contrario, le **soluzioni Power Shift** hanno il grande vantaggio di essere basate su componenti essenzialmente meccaniche e quindi scvere da elevate perdite durante la trasmissione del moto. Partendo da queste constatazioni, sono state recentemente proposte sul mercato soluzioni evolute di *Power Shift* che consentono di realizzare un cambio continuo della velocità in modo completamente meccanico. Esse sono costituite da un albero primario connesso all'albero motore attraverso la frizione principale, e due alberi secondari, sui quali sono presenti le ruote dentate delle marce, ognuno azionato attraverso una frizione (Fig. 6.30). Il loro funzionamento (Fig. 6.31) si basa sul fatto che in uno dei due alberi sono presenti tutte le marce pari, mentre nell'altro tutte le marce dispari. Quando è inserita una marcia, nell'altro albero viene preinserita una delle due marce adiacenti (quella superiore o quella inferiore) attraverso lo spostamento del corrispettivo manicotto. Questo è possibile in quanto solo una delle due frizioni è innestata, oltre ovviamente a quella principale. In funzione del regime motore, la centralina ECU determina la marcia da preinnestare: quella

adiacente superiore oppure quella inferiore. Impiegando attuatori elettromagnetici (più rapidi e precisi di quelli elettroidraulici), quando le condizioni sono ottimali per cambiare marcia, viene staccata la prima frizione e innestata la seconda, permettendo così una "cambiata dolce". Con questo tipo di cambio si ottengono risparmi di combustibile dell'ordine di qualche punto percentuale rispetto alle soluzioni miste idraulico-meccaniche. Peraltro, l'azionamento del cambio può avvenire anche in modo manuale lasciando all'operatore la responsabilità di scegliere il rapporto che ritiene più adeguato.



**Figura 6.30.** Schema della trasmissione a doppia frizione: sotto, l'albero primario; sopra, due secondari. In giallo le frizioni.



**Figura 6.31.** Funzionamento della trasmissione a doppia frizione: N (posizione in neutro), 1 (1<sup>a</sup> marcia innestata), 2 (2<sup>a</sup> marcia innestata).

## Struttura portante e sospensioni anteriori

La struttura tipica del trattore è a **trave portante rigida**. In essa gli elementi scatolati di contenimento dei singoli componenti di base del trattore (motore, trasmissione, ponte posteriore) sono rigidamente flangiati fra loro (Fig. 6.32).

Questa soluzione è poco elastica da un punto di vista costruttivo, in quanto obbliga a una progettazione congiunta di tutti i componenti. Inoltre, per quanto realizzati con cura, gli elementi scatolati non possono avere caratteristiche di resistenza tali da poter sopportare elevate sollecitazioni esterne, come il collegamento di pesanti zavorrature anteriori o l'utilizzo estensivo dei sollevatori frontali.

Per questa ragione sono state immesse sul mercato soluzioni di trattore a struttura alternativa costituita da un **telaio autonomo**, composto di longheroni e traverse appositamente progettati e realizzati, sui quali sono montati i diversi componenti del trattore.

Questa soluzione rende anche più agevole l'adozione di **sospensioni** per lo smorzamento delle vibrazioni. A proposito di queste ultime, sono numerose le soluzioni adottate per raggiungere lo scopo di smorzare le vibrazioni trasmesse dal ponte anteriore alla struttura del trattore (sia essa a telaio o a trave portante). In tutti i casi, il ponte anteriore non è più, come nelle soluzioni convenzionali, collegato rigidamente alla struttura del trattore, ma è sospeso.

Il collegamento avviene tramite un braccio incernierato (lateralmente o posteriormente) e uno o più pistoni idraulici, interposti tra ponte e struttura portante, collegati a un ammortizzatore ad azoto (Fig. 6.33).

Dispositivi elettronici regolano la risposta di questi ultimi in base alle condizioni d'impiego. Tuttavia, salvo alcuni

casi particolari, i sistemi sono disinseribili durante i lavori in campo che richiedono elevate forze di trazione, cioè quando per massimizzare le prestazioni della macchina è preferibile che il complesso assale – struttura portante del trattore – sia rigido.

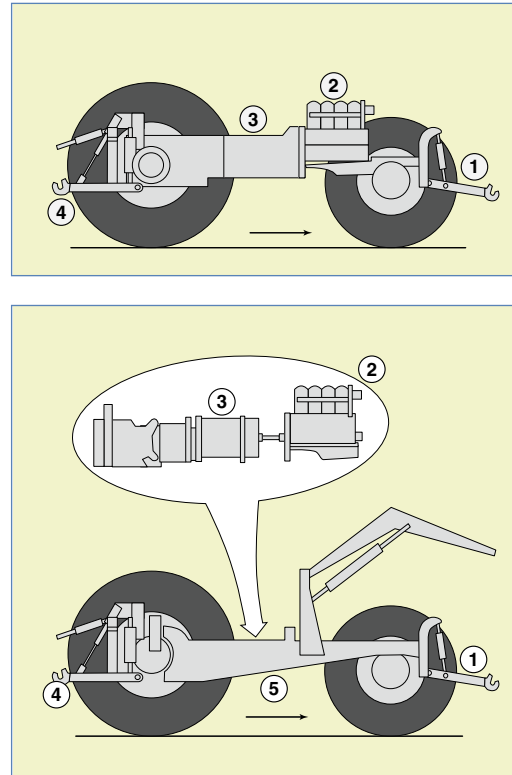
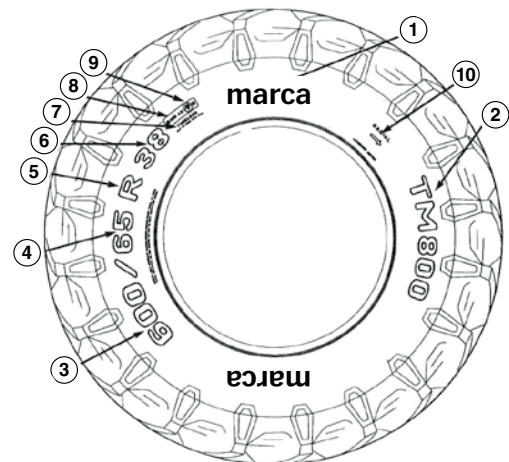


Figura 6.32. Strutture portanti del trattore a trave unica e a telaio. 1 - Sollevatore frontale; 2 - motore; 3 - cambio; 4 - sollevatore posteriore; 5 - telaio.

Le caratteristiche degli pneumatici sono identificate dalle marcature riportate sulla loro carcassa. Con riferimento alla figura il significato delle marcature è il seguente:

- 1) marca - nome del produttore;
- 2) nome della linea battistrada;
- 3) larghezza nominale sezione (mm);
- 4) rapporto tra altezza del fianco e larghezza della sezione;
- 5) tipo di struttura R = radiale, - = convenzionale (diagonale);
- 6) diametro di calettamento del cerchio (in pollici);
- 7) indice della capacità di carico, mediante tabelle indica qual è il carico massimo che può sopportare lo pneumatico;
- 8) codice di velocità, mediante tabelle indica la velocità massima di impiego dello pneumatico riferita all'indice di carico (n. 7);
- 9) indica la presenza o meno di camera d'aria;
- 10) la freccia indica il senso di rotazione in normale condizione di marcia.



## ✓ Esercizi

**E3.** Quale sarà la pressione esercitata sul terreno da uno pneumatico a carcassa radiale con pressione di gonfiaggio  $P_g = 100$  kPa e un coefficiente  $k$  di rigidità di 20 kPa?

**S3.**  $P_t = P_g + k = 100 + 20 = 120$  (kPa)

## Organi di propulsione

Sulle ruote motrici, vengono tipicamente montati **pneumatici** con nervature a spina di pesce. Per assicurare autopolizia e aderenza sufficienti, queste nervature sono a centro aperto, sporgenti e inclinate di circa 45°.

La pressione di gonfiaggio  $P_g$  è ormai sempre più spesso dell'ordine dei 80 ÷ 120 kPa. Essa influenza direttamente il **compattamento del terreno** in quanto la pressione  $P_t$  esercitata su quest'ultimo è pari alla somma della pressione di gonfiaggio e di un coefficiente  $k$  di rigidità della carcassa (solitamente  $k = 20-50$  kPa).

Abbandonati ormai gli **pneumatici a carcassa convenzionale** (con  $k$  molto elevato), sostituiti dai **radiali**, da molti anni sono stati proposti **pneumatici da trazione ad alta deformabilità** (con  $k$  molto basso) e a limitata pressione di gonfiaggio (40 ÷ 50 kPa) che offrono vantaggi in ordine a migliore aderenza e minore compattamento.

Nei trattori a 2RM, sulle ruote direttrici anteriori si hanno costolature longitudinali rispetto alla direzione di marcia (**armille**) atte a facilitare la guida. La pressione di gonfiaggio è superiore (130 = 200 kPa) e, quindi, il calpestamento è sempre elevato.

Per aumentare aderenza e capacità di trazione, gli pneumatici possono essere: montati **gemellati** (2 per ogni ruota motrice); equipaggiati con dispositivi antiscivolo a palette (ramponi); o con **semicingoli** o **ruote a gabbia**.

Una soluzione radicale per risolvere i problemi di compattamento e aderenza legati all'impiego delle ruote gommate è rappresentata dall'adozione dei **cingoli**.

In sostituzione delle quattro ruote si hanno due carrelli laterali muniti di supporti rotanti che azionano due catenarie continue.

Queste ultime fanno da supporto alle soles di appoggio e aderenza al terreno (tradizionalmente in acciaio) realizzando così il sistema cingolo che ripartisce il peso del trattore su un'ampia superficie conseguendo: elevata aderenza, basse pressioni (40 = 50 kPa), limitato compattamento.

L'usura dei cingoli è superiore a quella degli pneumatici (2.000 = 3.000 contro 4.000 = 5.000 ore di vita utile).

Utilizzando cingoli in acciaio, molto limitato è il comfort per l'operatore a causa delle elevate vibrazioni trasmesse; un ulteriore svantaggio è costituito dall'impossibilità di marciare su strada se non utilizzando i sovrappattini. Utilizzando cingoli in gomma anche questi problemi sono risolti (Fig. 6.34).

## Organi di direzionamento

Sui trattori a ruote la sterzata può avvenire seguendo tre schemi (Fig. 6.35):

1. **agendo solo sulle ruote del ponte anteriore** e modificando il loro angolo di intersezione con l'assale;
2. **agendo sulle tutte le 4 ruote** e modificando l'angolo di intersezione delle stesse rispetto a entrambi i ponti;
3. **realizzando una macchina con telaio snodato al centro** e modificando l'angolo di collegamento tra le due sezioni della macchina senza agire sulle ruote.

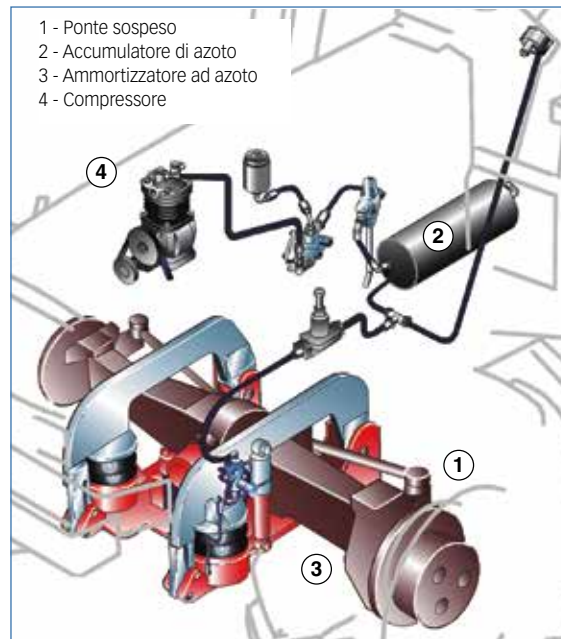


Figura 6.33. Sospensione pneumatica anteriore.



Figura 6.34. Trattore con cingoli in gomma.

Nelle macchine meno innovative, l'azionamento dei sistemi di **sterzata** avviene utilizzando una trasmissione di tipo completamente meccanico, con un volante di guida rigidamente collegato a un **piantone** che termina nella scatola di sterzo.

In questa è presente una vite senza fine che è innestata su un rullo che trasforma il movimento rotatorio del piantone in un movimento rettilineo.

All'uscita della scatola dello sterzo, una leva di comando si collega ai punti dove deve essere modificato l'angolo di intersezione tra i diversi organi. Per aumentare comfort e precisione di guida, i sistemi meccanici sono sempre più spesso sostituiti da quelli servoassistiti in cui il volante non è collegato direttamente in modo meccanico sugli attuatori, ma il comando è mediato da elementi idraulici.

In particolare, si possono distinguere sistemi idrodinamici (**servosterzo idraulico**) o sistemi idrostatici (**idroguida**) (Fig. 6.36).

Con l'idroguida gli elementi meccanici di comando sono completamente eliminati e si ha la possibilità di comandare sistemi di sterzata posti a notevole distanza dal posto di guida e di allestire facilmente trattori con guida retroversa.

Gli angoli massimi di sterzata realizzati sulle macchine convenzionali sono dell'ordine di  $45^\circ$ . Nelle macchine specializzate per vigneto sono ricercati angoli di sterzata maggiori che vengono realizzati anche attraverso la riprogettazione completa dell'assale anteriore in modo da eliminare l'interferenza degli pneumatici con il cofano del trattore.

Ciò si realizza avanzando la posizione dell'assale rispetto alle soluzioni convenzionali. Si hanno anche soluzioni che prevedono che nel piano orizzontale di sterzata, il ponte sia incernierato al corpo della macchina tramite un cuscinetto di grandi dimensioni in modo da poter ruotare. Con queste soluzioni, migliorate rispetto alle convenzionali, gli angoli di sterzata raggiunti possono essere superiori ai  $75^\circ$ .

Nei **trattori a cingoli con cingoli in acciaio** si impiegano due **frizioni di sterzo**, in genere accoppiate a freni, a comando meccanico tramite leveraggi (due o, più raramente, uno) azionati dal posto di guida.

Le frizioni escludono il funzionamento di uno dei cingoli ottenendo così la differenziazione della velocità tra i due elementi.

Nel caso si vogliano ottenere angoli di sterzata molto limitati, uno dei cingoli può essere arrestato utilizzando il relativo freno di sterzo azionato da apposito pedale. Per alcune macchine la guida avviene con sistemi servoassistiti e le due leve e i pedali sono sostituiti da un unico comando a *cloche*.

Nelle macchine con cingoli in gomma si ha un volante collegato a un sistema di comando che si comporta come un differenziale di sterzo. Questo controlla la velocità dei due cingoli e rende la guida del mezzo in tutto analoga a quella di un trattore gommato.

In questo contesto tecnologico di base, sempre più interesse stanno suscitando i sistemi di agevolazione e/o sostituzione delle operazioni di guida.

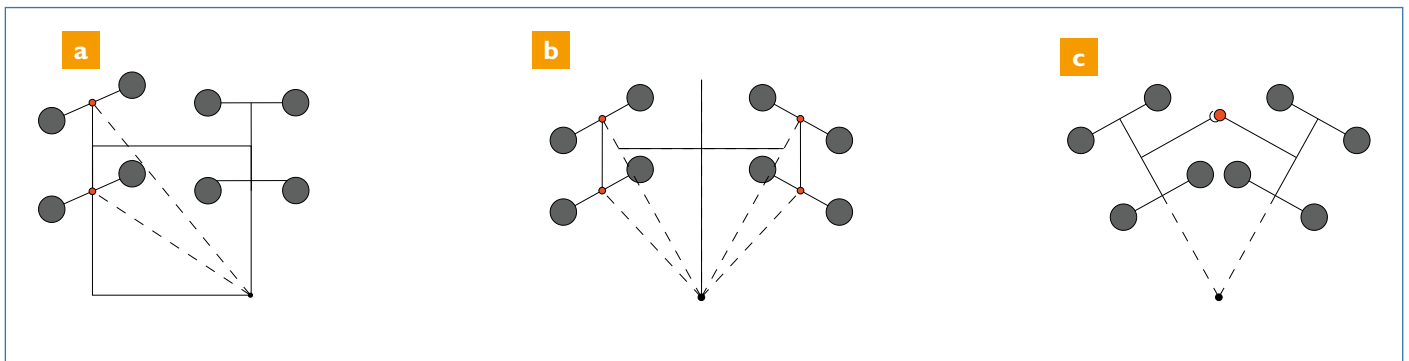


Figura 6.35. Sistemi di sterzata: (a) a due ruote; (b) a quattro ruote sterzanti; (c) con telaio articolato.

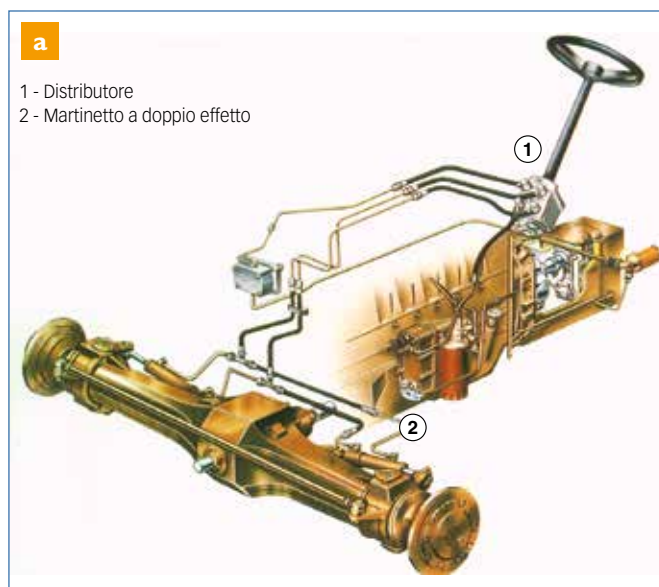


Figura 6.36. (a) Schema di funzionamento dell'idroguida. (b) Trattore speciale da vigneto con angolo di sterzata elevato.



## Organi di frenatura

Gli organi di frenatura sono rappresentati dai **freni di servizio**, con comando a pedale (sempre più ad azionamento servoassistito di tipo idrostatico), e dal **freno di stazionamento** (freno a mano) il quale può svolgere anche funzioni di freno di emergenza. Ormai abbandonati i freni a ganasce e a nastro, oggi si ritrovano sui trattori quasi esclusivamente **freni a disco** semplice o multiplo, a secco o in bagno d'olio (Fig. 6.38).

Si passa ai **freni multipli e in bagno d'olio** al crescere della potenza. Il materiale con cui sono fabbricati i componenti di attrito è dello stesso tipo di quello utilizzato per le frizioni. In genere, i freni (destro e sinistro) sono indipendenti, azionati ognuno da un pedale dedicato. Ciò al fine di ridurre il raggio di sterzata frenando le ruote interne alla curva. I pedali possono essere resi solidali tramite un apposito dispositivo di bloccaggio. I dischi sono montati sul ponte posteriore, a valle del differenziale e prima delle riduzioni finali. Con la diffusione dei trattori 4RM e l'incremento della velocità di avanzamento si è reso necessario montare sistemi di frenatura anche sul ponte anteriore. L'efficienza dei freni deve essere tale da consentire decelerazioni dell'ordine di  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

## Organi di collegamento alle operatrici

Tali organi si dividono in: gancio di traino, sollevatore e attacco a tre punti, presa di potenza, distributore idraulico, connessioni impianto elettrico (Fig. 6.39). Il trattore, nella sua concezione moderna, è una centrale mobile di potenza che viene trasmessa principalmente sotto forma di forza di trazione o coppia. Per quanto riguarda la possibilità di trasmettere forza di trazione il collegamento delle operatrici al trattore può avvenire in modo:

- **portato**: tutto il peso della macchina si scarica sul trattore;
- **semiportato**: parte del peso si scarica sul trattore, parte sul terreno;
- **trainato**: tutto il peso si scarica a terra.

Il collegamento per trazione viene realizzato mediante:

- **il gancio**;
- **l'attacco a tre punti**.

Per quanto riguarda la possibilità di trasmettere coppia alle macchine operatrici il collegamento al trattore può avvenire attraverso:

- **la p.d.p. meccanica**;
- **la p.d.p. idraulica**;
- **la p.d.p. elettrica**.

## Guida assistita e semiautomatica

Requisito primario dell'agricoltura è poter condurre i mezzi agricoli lungo traiettorie predefinite. Ciò è cruciale per le operazioni che prevedono la distribuzione dei fattori della produzione e necessitano, per un loro corretto svolgimento, della percorrenza di traiettorie parallele ed equidistanti, limitando il più possibile sovrapposizioni e porzioni di terreno e/o di coltura non trattate. Questa precisione di guida risulta tanto più necessaria quando si applicano prodotti fitosanitari e le dosi di prodotto distribuito sono al limite dell'efficacia o della tossicità. Con la guida manuale è difficile allineare le passate adiacenti, a causa dell'errore di parallasse tipico dell'occhio umano.

La precisione, inoltre, è influenzata dalle condizioni climatiche al momento dell'intervento: quindi, con visibilità non ottimale (presenza di nebbia o lavorazioni notturne), peggiora sensibilmente. In ogni caso, per quanto abile sia l'operatore, è impossibile con la sola guida manuale evitare sovrapposizioni, specie se si impiegano operatrici a elevata larghezza di lavoro. Così, nelle migliori condizioni, il grado di sovrapposizione è stimato intorno al 10%, con punte che raggiungono il 20-25% (in appezzamenti di piccole dimensioni e di forma irregolare).

Questo comporta un aumento dei tempi di lavoro, la crescita del consumo di combustibile e uno spreco di prodotto distribuito, con pesanti ripercussioni dal punto di vista economico. Risulta pertanto evidente l'importanza dei sistemi di guida automatizzati. In commercio sono disponibili tre diversi sistemi a crescente complessità tecnologica:

**1. la guida assistita**, consente all'operatore di correggere la traiettoria del mezzo agricolo grazie alla capacità di agire manualmente sul volante, seguendo le indicazioni fornite dal sistema (barra di guida);

**2. il sistema semi-automatico**, implementa sensori e attuatori, che consentono la correzione automatica della traiettoria limitando l'intervento dell'operatore alle manovre di fine campo (Fig. 6.37);

**3. la guida automatica**, rende non necessaria la presenza dell'operatore a bordo. Questo ultimo tipo di guida, presente quasi esclusivamente a livello di prototipo, richiede l'uso di GNSS e di sensoristica avanzata (es. laser, scanner) per la ricognizione di eventuali ostacoli presenti sul percorso della macchina. I sistemi citati possono, a vario livello, colloquiare col sistema ISOBUS del trattore.

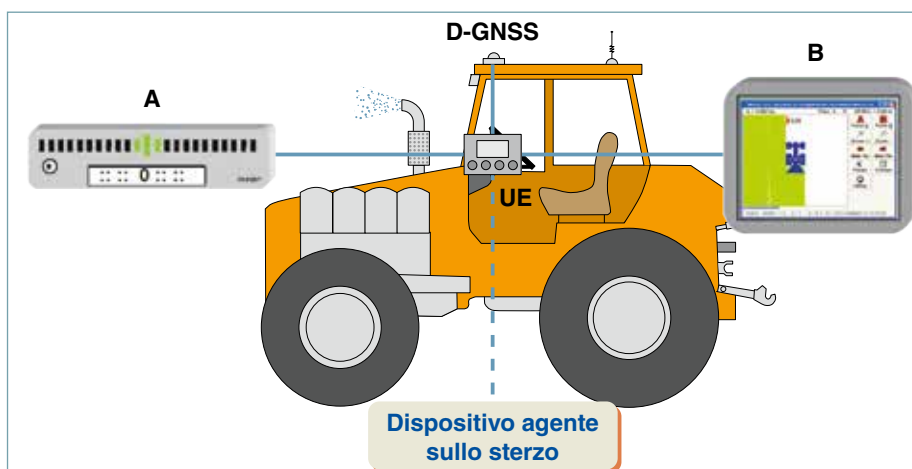


Figura 6.37. Componenti di un generico sistema di guida: ricevitore GNSS col sistema di correzione della posizione (D-GNSS), unità di elaborazione (UE), barra a led (A) e/o display grafico (B), dispositivi attuatori sullo sterzo.



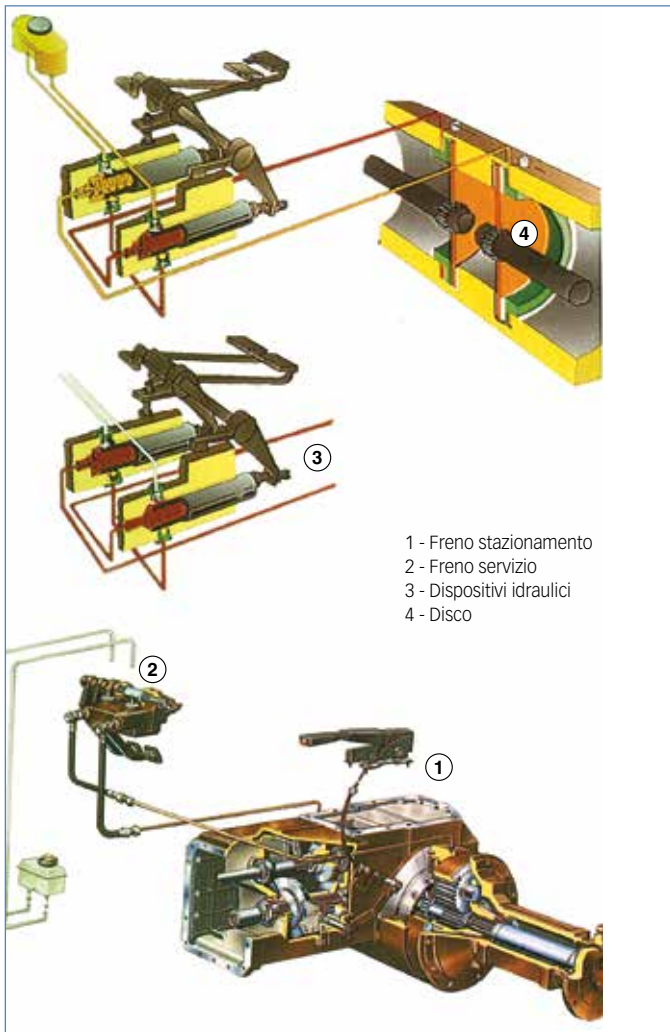


Figura 6.38. Schema funzionamento freni a disco indipendenti sulle due ruote posteriori.

Il **gancio di traino** ha dimensioni normalizzate in diverse categorie corrispondenti alla massa rimorchiabile (Tab. 6.7). Oltre che direttamente al corpo del trattore, il gancio può anche essere fissato a una barra trasversale fissata ai bracci inferiori del sollevatore.

L'**attacco a tre punti** è costituito dai due bracci inferiori, azionati dal sollevatore idraulico e dal puntone. Le specifiche ISO definiscono 4 categorie di attacco:

**Categoria 1 - Potenza fino a 48 kW**

**Categoria 2 - Potenza da 48 a 92 kW**

**Categoria 3 - Potenza da 92 fino a 185 kW**

**Categoria 4 - Potenza da 185 a 300 kW**

Per ognuna di queste sono normati i principali parametri dimensionali. Recentemente si è andato diffondendo l'attacco a tre punti anteriore, in aggiunta a quello posteriore classico.

Sempre più spesso questo serve a sostituire i tradizionali dispositivi di aggancio delle zavorrature anche per il fatto che queste possono ormai superare il 30-35% del peso complessivo della macchina ed è quindi necessario equipaggiare le macchine di dispositivi che consentano un rapido aggancio e sgancio.

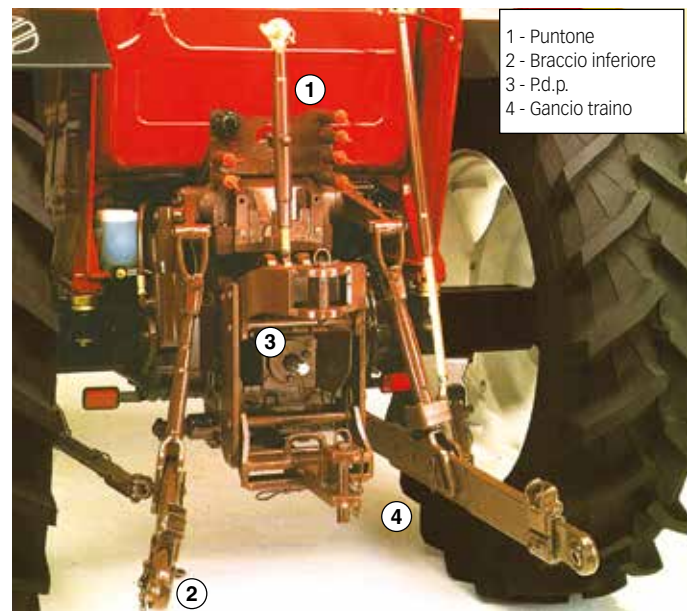


Figura 6.39. Vista della parte posteriore del trattore con attacchi idraulici, ganci di traino, p.d.p. e sollevatore.

CATEGORIA	TIPO DI RIMORCHIO	MASSA RIMORCHIABILE [kg]	CARICO VERTICALE [kN]
A	2 o più assi	6.000	0
B	1 o più assi	6.000	5,0
C	1 o più assi	6.000	15
D	2 o più assi	12.000	0

Tabella 6.7. Categorie di accoppiamenti trainanti.

L'attacco a tre punti può essere anche munito di agganci rapidi, che permettono cioè l'attacco senza che l'operatore scenda dalla trattice (Fig. 6.40). Tali sono quelli che prevedono un doppio telaio ad A, inviti conici sui perni dell'operatrice, terzo punto telescopico, ecc. L'attacco a tre punti è azionato, tramite uno o più **martinetti**, dal sollevatore che riceve olio in pressione dall'impianto idraulico della trattice.



Figura 6.40. Sistema di attacco rapido.

Il sollevatore può essere utilizzato con funzionamento:

- **flottante:** il martinetto non esercita alcuna forza di sollevamento e la macchina operatrice segue il profilo del terreno. Serve a collegare tutti gli attrezzi che devono operare appoggiati al terreno con slitte, ruote o rulli, come zappatrici, vangatrici, seminatrici, trinciastocchi, trincia-caricatrici, ranghinatori, ecc.;
- **a posizione controllata:** il sollevatore viene regolato in modo da mantenere una posizione fissa rispetto alla trattoria; se questa varia, dei sensori di posizione avvertono dello spostamento e agiscono sul distributore in modo da ripristinare la posizione corretta. Si opera in questo modo con macchine che devono mantenere fissa: A – l'altezza da terra (come spandiconcime, atomizzatori, barre irroratrici, gruette); B – la profondità di lavoro (come scavafossi, trivelle, lame livellatrici). Il sistema non sempre consente di mantenere costante la profondità di lavoro, ad esempio in aratura su terreni ondulati;
- **a sforzo controllato:** la forza di trazione viene mantenuta costante mediante sensori di misura che comandano l'abbassamento o il sollevamento dell'attrezzo in caso di allontanamento del valore misurato da quello predefinito. Ha l'inconveniente di comportare una profondità di lavoro variabile in caso di aratura su terreni di tenacità non costante;
- **funzionamento misto:** le informazioni circa la posizione e lo sforzo vengono combinate in modo da ottenere, in pratica, una posizione dell'attacco intermedia rispetto ai sistemi precedenti.

I sensori di tipo meccanico (leveraggi sensibili alle variazioni di posizione; molle sensibili allo sforzo fissate sul puntone o sui bracci inferiori) sono ormai sempre meno utilizzati (Fig. 6.41).

Si sono infatti diffusi i sistemi elettronici basati su **potenziometri** ed **estensimetri** che consentono fra l'altro il trattamento digitale delle informazioni e la loro integrazione in un computer di bordo.

Ad esempio, l'impiego di ulteriori sensori (radar per misurare la velocità di avanzamento; sensori di velocità angolare per misurare la velocità delle ruote) consente di misurare lo slittamento, ed esistono sistemi a posizione, sforzo e slittamento controllati.

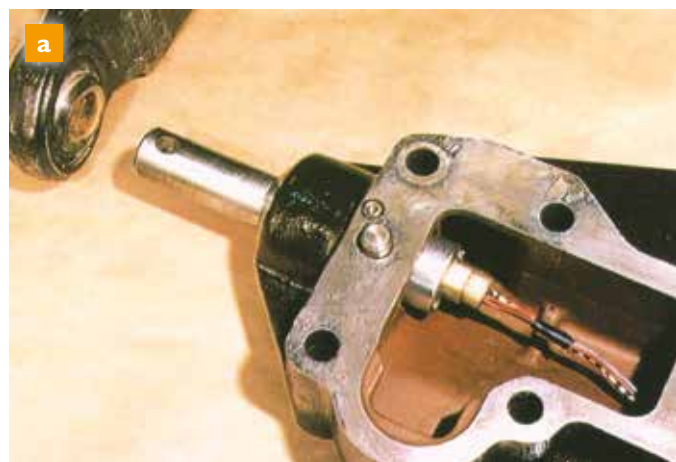


Figura 6.41. (a) Sensibilizzazione del braccio inferiore per realizzare il controllo elettronico del sollevatore. (b) Schema di funzionamento del sollevatore a controllo elettronico.

La **presa di potenza meccanica** è costituita da un **albero scanalato** che permette, interponendo tra trattore e macchina operatrice un albero cardanico, la trasmissione di potenza in forma rotatoria all'operatrice stessa.

Essa è standardizzata in 4 categorie (ormai ridotte a 3, Tab. 6.8), da apposite normative internazionali, a seconda del numero di giri (se indipendente dal cambio), disegno costruttivo, verso di rotazione, posizione. In particolare il tipo per potenze inferiori a 48 kW è utilizzabile solo con regime di rotazione a 540 giri/min.

Classicamente la p.d.p. meccanica è in posizione posteriore, ma può anche essere anteriore o ventrale.

Essa riceve il moto dal motore tramite apposita trasmissione, ormai generalmente del tipo indipendente dalla trasmissione principale, che deriva il moto a monte del cambio. Questa fa ruotare l'alberino d'innesto mantenendo un rapporto fisso rispetto ai giri motore.

Così, per un regime di rotazione pari al 90-95% di quello massimo (circa 2.000 giri/min sulla maggior parte dei trattori) abbiamo le p.d.p. ruotanti ai seguenti giri/min: 540 (standard); 1.000 (veloce). A regimi di rotazione pari al 60-65% di quelli massimi abbiamo le cosiddette p.d.p. economiche a 450 e 750 giri/min.

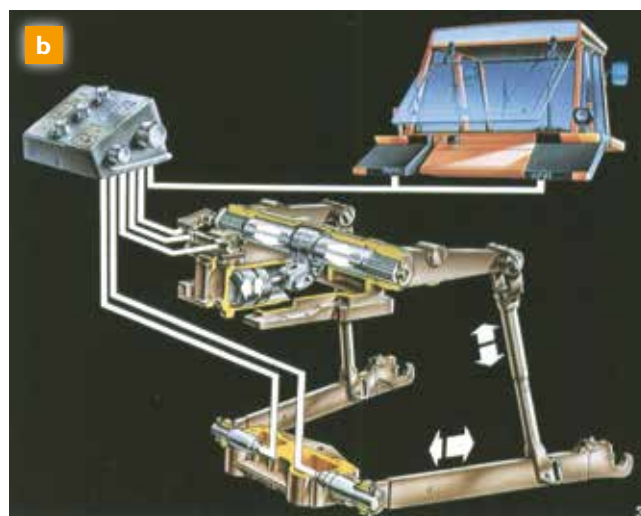
Tutte queste p.d.p. sono utilizzate per accoppiare le più svariate macchine operatrici che possiedono organi di lavoro ruotanti.

Alla p.d.p. può anche essere accoppiata una pompa idraulica in modo da realizzare un circuito idraulico supplementare a quello del trattore.

Quando la presa di potenza deriva il moto a valle del cambio, il suo regime è proporzionale a quello delle ruote (**presa di potenza sincronizzata col cambio**).

A questa sono accoppiate solo macchine trainate con assale motore. Su alcuni trattori si hanno due alberini: uno per la p.d.p. classica; l'altro per la p.d.p. sincronizzata. Le due p.d.p. servono per poter utilizzare macchine – come i carri autocaricanti – con assale motore che hanno necessità di potenza sia indipendente sia sincronizzata.

La cosiddetta **p.d.p. idraulica** è costituita da una serie di **giunti**, dotati di valvole di tenuta, posti sia anteriormente, sia posteriormente al trattore. Questi, tramite appositi **tubi flessibili** sono collegati ad analoghi giunti posti sulla M.O.



alla quale deve essere destinato l'olio pompato dal trattore con una pressione che può arrivare anche ai 200 bar. Il tipo di aggancio è di solito a **sfere del tipo push-pull**.

La potenza che il trattore riesce a erogare in questo modo è in genere pari al 20% di quella massima del motore. Per andare oltre si devono adottare circuiti idraulici a centro chiuso a rilevamento di carico (CCLS). Oppure si risolve il problema con un gruppo ausiliario portato all'attacco a tre punti, costituito da una pompa idraulica con serbatoio proprio, azionata dalla presa di potenza.

Con queste p.d.p. si ottiene l'azionamento di utilizzatori idraulici posti sull'operatrice quali:

- **martinetti idraulici** (ad esempio, per il sollevamento di operatrici trainate, per variare la posizione dell'operatrice rispetto alla motrice, per il ribaltamento degli aratri reversibili ecc.);
- **motori idraulici** (per l'azionamento di organi posti in posizione tale che risulterebbe difficile realizzare una trasmissione meccanica; utile inoltre per organi che presentano coppie resistenti variabili come barre falcianti, potatrici, ecc.).

## Posto di guida

Le sempre maggiori esigenze in termini di sicurezza e comfort dell'operatore, associate al tumultuoso sviluppo tecnologico, hanno portato, negli ultimi decenni, a una evoluzione radicale della concezione del **posto di guida** non solo dei trattori, ma anche di tutte le altre operatrici semoventi che operano in agricoltura.

L'obbligo di introduzione delle **strutture di protezione** (Fig. 6.42) per la difesa dell'operatore nel caso si verificano dei ribaltamenti del mezzo, in vigore in Italia dal 1973, si è inserito in tale processo portando, di fatto, all'incentivazione dell'utilizzo delle cabine.

Queste, come meglio specificato nel seguito, rappresentano un elemento fondamentale per il raggiungimento di elevati standard ergonomici. Secondo la normativa italiana, tutti i trattori a ruote con carreggiata di uno degli assi superiore a 1.000 mm e massa superiore a 800 kg devono infatti essere dotati di struttura di protezione omologata.

Essa deve creare una zona di sicurezza che, in caso di ribaltamento, funga da cellula di sopravvivenza per il conducente. Il dispositivo standard di protezione è rappresentato da un telaio a 4 montanti ancorati alla struttura portante del trattore, uniti alla sommità da traverse di acciaio. Questo dispositivo può essere inglobato nel telaio di una cabina che serve anche a isolare dall'esterno il posto di guida dell'operatore. Solo se non è possibile montare il telaio standard, esso può essere sostituito da una **struttura di protezione realizzata con due montanti**, abbattibile o meno, installata davanti o dietro al posto di guida.

SCANALATURE	DIAMETRO [mm]	POTENZA MOTORE [kW]
6	35	< 48
6(*)	45	48-100
21	35	48-92
21	45	92-185

(\*) Fuori standard da numerosi anni, ma ancora presente su vecchi trattori.

Tabella 6.8. Categorie di prese di potenza normalizzate.



Figura 6.42. Trattore di media potenza con telaio di sicurezza senza cabina.

## ✓ Esercizi

**E4.** Il manuale di istruzione di un trattore indica che la p.d.p. ruota a 540 giri/min con regime del motore a 2.000 giri/min. Al trattore viene accoppiata una zappatrice che ruota a 400 giri/min quando la presa di potenza lavora a regime nominale. Se il motore viene fatto lavorare a 1.500 giri/min, quali saranno i regimi di rotazione della p.d.p. e della zappatrice? Supponendo, inoltre, che per ottenere una buona qualità di lavoro la zappatrice debba procedere a 4 km/h quando la presa di potenza gira a 540 giri/m, quale dovrà essere la sua velocità diminuendo il regime del motore? Per le varie soluzioni si possono impostare delle proporzioni.

**S4.** Per la p.d.p.:  $540 : 2000 = x : 1.500$   
 da cui:  $x = (500 \cdot 1.500)/2.000 = 405$  (giri/min)  
 Per la zappatrice:  $400 : 2.000 = x : 1.500$   
 da cui:  $x = (400 \cdot 1.500)/2.000 = 300$  (giri/min)  
 Per la velocità:  $4 : 2.000 = x : 1.500$   
 da cui:  $x = (400 \cdot 1.500)/2.000 = 3$  (km/h)

Detto ciò, il posto di guida (Fig. 6.43) può comunque essere realizzato installando il sedile:

- direttamente sul corpo del trattore, il che avviene solo sui trattori cingolati di bassa potenza o sulle macchine in versione ultra economica sempre di bassa potenza;
- al di sopra di una piattaforma senza cabina, per le macchine in versione economica, specie 2RM, fino alla media potenza;
- all'interno di una cabina chiusa sospesa, che rappresenta una soluzione che interessa la maggior parte delle macchine destinate al mercato professionale.

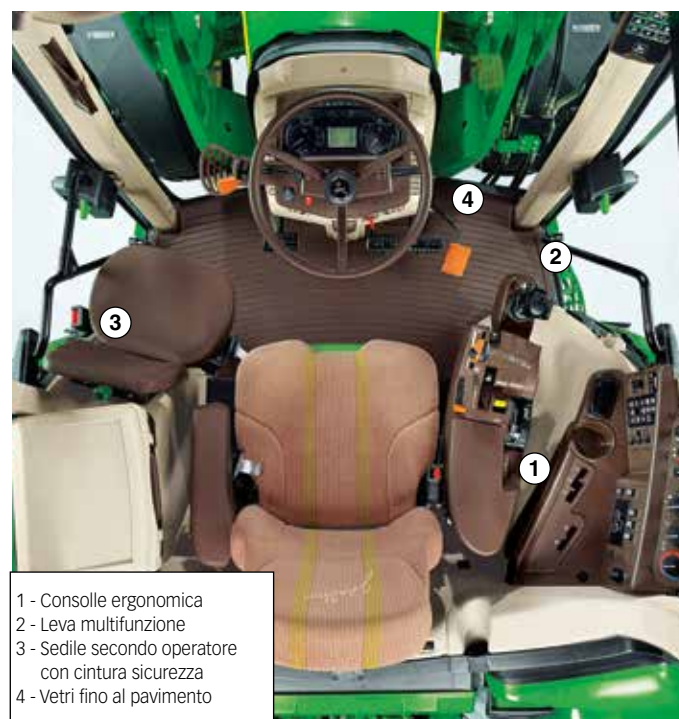
Il primo caso è quello che pone maggiori problemi per quanto riguarda il raggiungimento di elevati standard ergonomici in quanto il progettista non ha molte possibilità di azione visti i vincoli dimensionali e ambientali. Nell'ultimo caso, invece, si hanno maggiori possibilità di scelta riguardo alla progettazione dei seguenti elementi fondamentali per raggiungere elevati standard ergonomici (Fig. 6.43):

- sedile, tipologia dei comandi e loro disposizione;
- accesso al posto di guida e visibilità;
- controllo del microclima e delle sostanze tossiche;
- controllo rumore e vibrazioni.

## Sedile e comandi

Per quanto riguarda il **sedile**, esso riveste un'importanza fondamentale per la riduzione delle vibrazioni trasmesse al guidatore; in commercio è disponibile una grande varietà di sedili.

Oltre all'isolamento dalle vibrazioni, il sedile deve consentire un supporto ottimale della persona, soprattutto in funzione delle operazioni che deve compiere e delle posture che, di conseguenza, assume.



- 1 - Consolle ergonomica
- 2 - Leva multifunzione
- 3 - Sedile secondo operatore con cintura sicurezza
- 4 - Vetri fino al pavimento

Figura 6.43. Interno di una cabina di trattore.

Nelle versioni più confortevoli il sedile deve avere: culla abbastanza larga e lunghezza inferiore a quella della coscia; appoggio lombare regolabile; inclinazione dello schienale regolabile; braccioli regolabili; possibilità di rotazione di 20° su entrambi i lati; regolazione in altezza e in profondità; rivestimento idoneo a consentire una buona traspirazione. Il sedile, infine, deve essere equipaggiato di cintura di sicurezza a norma di legge. In merito ai **comandi**, essi giocano un ruolo di grande importanza nella buona conduzione dei mezzi agricoli; ciò a causa della presenza di dispositivi quali gli organi per il traino, il sollevatore idraulico, la p.d.p. e tutto l'insieme di regolazioni possibili dello o degli attrezzi collegati. Sono presenti, inoltre, comandi di tipo molto diverso: **meccanici** (es. tradizionali leve del cambio); **idraulici** (es. idroguida); **elettrici** (pulsantiera o comandi *touch screen* del monitor di bordo) o, talvolta, **pneumatici** (interruttori, pulsanti, ecc.). Non c'è dubbio che i comandi più importanti siano quelli adibiti al controllo del mezzo nella circolazione; tuttavia, per la loro complessità e unicità (sono presenti solo sul trattore), anche gli altri necessitano di un'attenta verifica ergonomica. Ciò specie per i comandi dei dispositivi di emergenza. A tal fine un comando deve essere:

- collocato al posto giusto;
- riconoscibile con facilità;
- azionabile in modo agevole.

Il posizionamento ottimale deve essere realizzato sulla base di **studi antropometrici** (Fig. 6.44) che prendono in considerazione le dimensioni fisiche delle persone che utilizzeranno la macchina e le forze che gli stessi possono esercitare. La posizione reciproca dei comandi è poi realizzata mettendo prima a disposizione del conducente quelli che maggiormente possono evitare incidenti o danni a cose o persone.

Per la riconoscibilità, così come sulle altre macchine agricole, anche sul trattore i **simboli di identificazione** devono essere conformi alle specifiche norme (Fig. 6.45). I colori più sgargianti identificano i comandi d'emergenza. Indicazioni specifiche si possono poi fornire per pedali, volante, leve. Le superfici dei pedali non devono essere troppo piccole, per consentire di azionarli in modo agevole, né ovviamente scivolose.

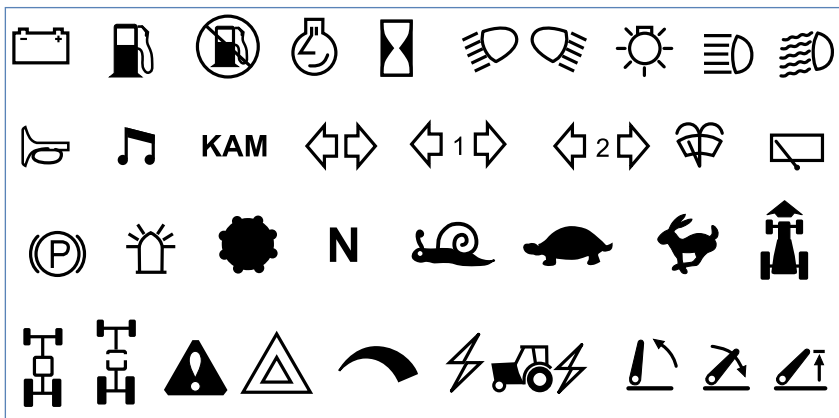
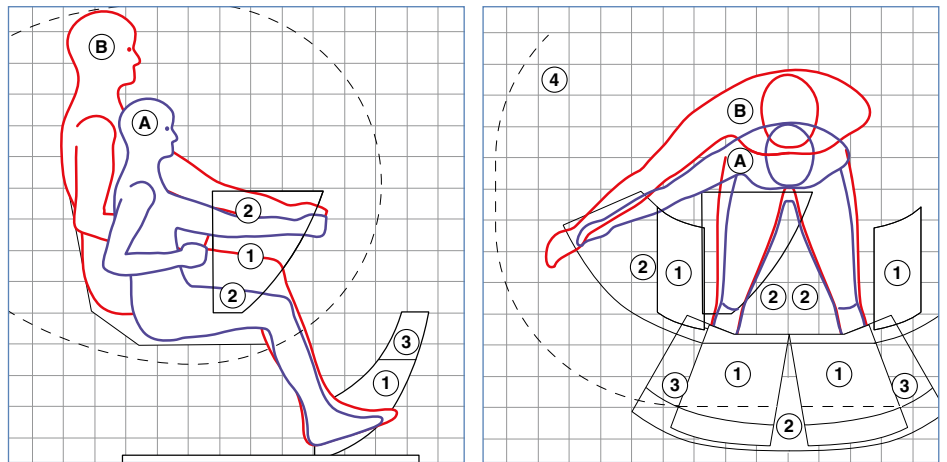
Il volante deve, se possibile, essere regolabile sia per la sua inclinazione sia per la lunghezza del piantone. Per le numerose leve (cambio, acceleratore a mano, freno a mano, frizione p.d.p., comandi sollevatore, ecc.) deve essere attentamente considerata la loro collocazione e la direzione di applicazione in funzione delle caratteristiche antropometriche del conducente.

Attualmente, sui trattori tecnologicamente più avanzati, la maggior parte dei comandi a leva è stata eliminata e sostituita da comandi elettroidraulici concentrati in un **pannello di controllo** o in una **leva multi-funzione**, dove le diverse regolazioni sono comandate tramite interruttori, tasti, pulsanti, reostati, ecc. (Fig. 6.46). L'interposizione di un controllo elettrico rende tutti i comandi **servo-assistiti** eliminando quasi del tutto le forze che il conducente deve esercitare sul controllo del mezzo. Inoltre, non essendo più presenti leve meccaniche, la posizione dei comandi può essere ottimizzata al fine di rendere più sicuro il lavoro.

**Figura 6.44.** Il posto di guida deve tenere conto delle dimensioni medie della popolazione (misure antropometriche) sia come spazio abitabile sia come facilità di azionamento dei comandi.

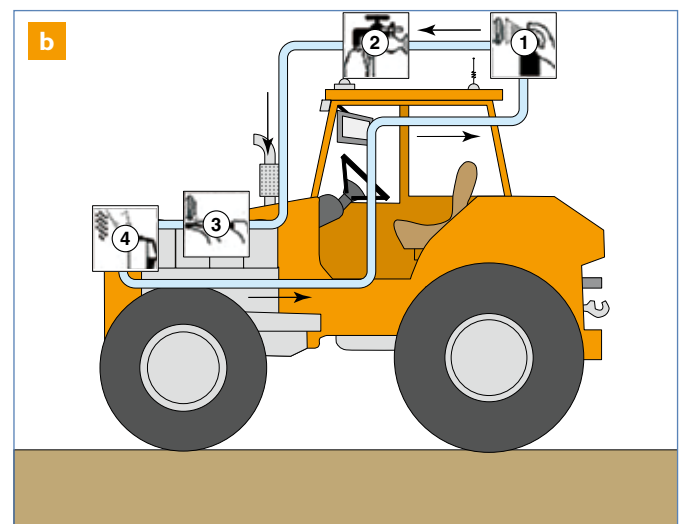
A - Operatore "piccolo"  
B - Operatore "grande"

- 1 - Area ottimale
- 2 - Area soddisfacente
- 3 - Area poco soddisfacente
- 4 - Area di limitato utilizzo



**Figura 6.45.** Rappresentazione delle varie spie luminose, di segnalazione e controllo funzioni, che possono essere presenti sul cruscotto del trattore.

**Figura 6.46.** Consolle di comandi con joystick.



**Figura 6.47.** (a) Visibilità ottimale da una cabina di trattore. (b) Sistema di condizionamento dell'aria: 1 - la valvola laminatrice provoca l'evaporazione del fluido diatermico; 2 - lo scambiatore assorbe all'interno della cabina energia termica; 3 - il compressore riporta il fluido allo stato liquido; 4 - lo scambiatore cede all'esterno il calore assorbito precedentemente.

## Accesso e visibilità

L'accesso all'abitacolo del trattore deve avvenire in modo semplice al fine di evitare possibili infortuni. Inoltre, l'esecuzione di movimenti non naturali o veri e propri contorsionismi incrementano senz'altro la fatica dell'operatore.

Una **visione ottimale** dal posto di guida del trattore (Fig. 6.49a) è fondamentale sia per una sicura conduzione

del mezzo, sia per elevati livelli qualitativi delle lavorazioni in campo, specie con operatrici (e sono la gran parte) collegate posteriormente. Sempre più curata, la visibilità in posizione anteriore ha portato alla realizzazione di cofanature a profilo inclinato con ingombri talmente limitati da risultare praticamente non visibili dall'interno della cabina.

I vetri delle cabine sono di solito del tipo temperato o stratificato, per ridurre il più possibile il pericolo di lesioni al conducente nel caso di una loro rottura. Devono avere una buona trasparenza e non devono causare alcuna deformazione degli oggetti visti, né alcuna confusione tra i colori. In aggiunta, devono preservare il conducente e gli eventuali passeggeri da eccessi di luminosità, abbagliamenti, ecc., oltre che limitare l'effetto serra.

Da tempo sono impiegati vetri azzurrati, bruniti o affumicati per migliorare questi ultimi aspetti.

## Il controllo del microclima e delle sostanze tossiche

Per quanto riguarda il **controllo del microclima**, esso può avvenire solamente con l'impiego di una cabina chiusa. Infatti, le **temperature** alle quali l'essere umano si sente a suo agio, pur soggettive e variabili in funzione del tipo di attività svolta, risultano comprese tra 17 e 25 °C, con un'umidità relativa dell'aria contenuta tra il 35 e il 60% tuttavia, il mantenimento di queste in ambiente non confinato è praticamente impossibile.

Purtroppo, la cabina chiusa di un trattore, con le sue ampie superfici vetrate, si comporta come una vera e propria serra. Da qui l'esigenza di intervenire con sistemi di con-

trollo del microclima in condizioni sia invernali sia estive. La maggior parte delle cabine in commercio è efficacemente isolata dal calore che proviene dal motore e dalla trasmissione del trattore.

Il controllo delle radiazioni solari, invece, presenta maggiori difficoltà. Tendine parasole e vetri azzurrati sono i più diffusi mezzi passivi adottati per limitare il contributo dell'energia radiante incidente.

Un altro fattore determinante nel controllo di tale fenomeno è il colore della cabina e dei rivestimenti interni in generale. Interventi attivi per il controllo della temperatura all'interno della cabina chiusa si realizzano, invece, con gli **impianti di ventilazione** o di **condizionamento dell'aria** (Fig. 6.49b). Per il **controllo delle sostanze tossiche**, è da mettere in evidenza come i trattoristi siano particolarmente esposti ai gas di scarico dei motori, a gas o sospensioni di microparticelle di prodotti fitosanitari, concimi e polveri organiche o inorganiche generate nello svolgimento delle lavorazioni.

Le protezioni contro questi agenti inquinanti sono di tipo personale e tecnico. Tra le prime si possono citare vari tipi di **mascherine**, con grado di protezione variabile, e i **caschi** con filtro per polveri e gas, dotati di dispositivo motorizzato per il pompaggio dell'aria, alimentato, a seconda dei tipi, da batterie autonome o tramite quella del trattore.

## P.d.p. elettriche

L'evoluzione tecnologica del trattore sta portando a un impiego sempre più massiccio di sensori e attuatori che mirano a rendere sempre più automatizzato il lavoro di macchine motrici e operatrici e a rendere disponibili sempre maggiori quantità di dati per il *management* informatizzato delle operazioni agricole. In questo ambito si è assistito a una tendenza alla sostituzione delle forme di trasmissione del moto tramite p.d.p. meccaniche con forme prima idrauliche e più recentemente elettriche (Tab. 6.9).

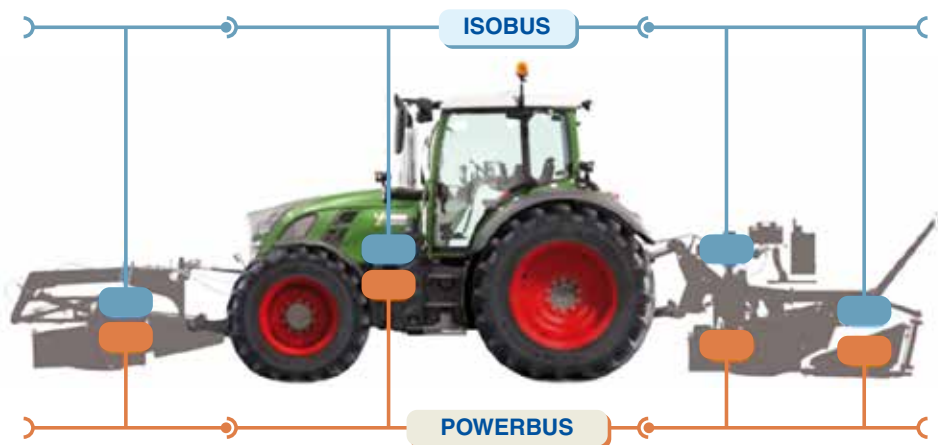
Le trasmissioni elettriche offrono i seguenti vantaggi:

- basandosi su cavi altamente flessibili, rendono più facilmente realizzabili gli accoppiamenti anche tra numerose e diverse macchine operatrici accoppiate tra loro;

- rispondono perfettamente alle esigenze di controllo dei protocolli CAN-ISOBUS rendendo oggettivamente più semplice l'ottimizzazione del controllo del flusso di energia verso gli utensili delle macchine operatrici (Fig. 6.48);

- migliorano sicurezza e confort dell'operatore.

In aggiunta a ciò, grazie all'evoluzione sempre più spinta delle batterie, sono sempre più numerose le istituzioni di ricerca pubbliche e private che si stanno occupando di mettere a punto trattori sia a funzionamento completamente elettrico, sia di tipo ibrido. Peraltro in alcuni specifici casi di macchine agricole, il problema è già stato affrontato e risolto anni fa (Fig. 6.49).



**Figura 6.48.** Comunicazione CAN-ISOBUS e trasmissione della potenza attraverso p.d.p. elettriche che si integrano perfettamente in quanto "parlano la stessa lingua".

L'alternativa al casco, come protezione di tipo tecnico, consiste nell'adozione di un gruppo filtrante (Fig. 6.50) e di adeguate guarnizioni di chiusura sulla cabina di guida del trattore. Tale soluzione, che si rivela molto pratica poiché consente completa libertà all'operatore, non è però applicabile a tutti i tipi di macchine, essenzialmente per ragioni dimensionali e di costo. La pressurizzazione generata all'interno della cabina è di circa 50 Pa; è importante, quindi, che durante i trattamenti la cabina sia ermeticamente chiusa e che il filtro, di solito a carboni attivi, sia in buone condizioni.

L'efficienza dei filtri, infatti, dipende dal loro grado di saturazione ed è difficilmente predeterminabile; ne consegue che è indispensabile una loro diligente sostituzione in funzione della durata indicata dal costruttore, pena un rapido e pericoloso decadimento delle capacità depuranti.

## Il controllo del rumore e delle vibrazioni

Per questi due fenomeni fisici, così importanti da controllare ai fini del miglioramento del comfort e della sicurezza, gli accorgimenti adottati sui trattori più recenti hanno fatto proprie le innovazioni messe a punto nei più ricchi settori automobilistici e del trasporto su strada.

Così, attraverso la realizzazione di soluzioni di riduzione dei fenomeni sia di tipo attivo, sia di tipo passivo, il comfort raggiunto all'interno delle cabine dei trattori non ha niente da invidiare a quello delle automobili e dei camion di più alta gamma.



Figura 6.50. Sistema di filtraggio dell'aria da inviare in cabina.



Tabella 6.9. Evoluzione tecnologica del trattore e diversi sistemi di trasmissione del moto e di controllo delle macchine operatrici.

Figura 6.49. Sui carri semoventi per la raccolta della frutta già da anni sono stati dimostrati i vantaggi che derivano dall'uso della trazione elettrica in sostituzione di quella meccanica.

EVOLUZIONE TECNOLOGICA	SENSORI/ ATTUATORI	DISPOSITIVO VISUALIZZAZIONE	TIPO TRASMISSIONE MOTO ALLE MO	TIPO ATTUATORI MO	CONTROLLO DELLA LARGHEZZA LAVORO E/O SEZIONI	CONTROLLO DELLA PORTATA DI DISTRIBUZIONE IN BASE ALLA POSIZIONE
<b>Iniziale</b>	Pochi (< 10) meccanici	Cruscotto	Meccanica	Meccanici	No	No
<b>Basso</b>	Pochi (10-20) elettronici	Cruscotto pulsantiera	Meccanica	Meccanico-idraulici o elettroidraulici	Manuale ON-OFF	No
<b>Medio</b>	Molti (20-50) elettronici	Cruscotto + pulsantiera + monitor dedicato	Meccanico-elettrica	Elettroidraulici	Manuale o automatico ON-OFF	Sì
<b>Alto</b>	Molti (50-100) elettronici	Virtual terminal – <i>sequence controller</i>	Meccanico-elettrica	Elettroidraulici + elettrici	Automatico Portata singoli distributori	Sì
<b>Molto alto</b>	Moltissimi (>100)	Virtual terminal – <i>task controller</i>	Elettrica	Elettrici	Automatico Portata singoli distributori	Sì prescrittivo

## Controllo del rumore

Secondo la Direttiva 2009/76/CE, nei trattori a ruote la certificazione non può essere rifiutata dai Paesi membri UE se la rumorosità è limitata a 90 o 86 dB(A) a seconda delle modalità di misurazione impiegate. In ogni caso, ormai, nel caso dei trattori (quando non accoppiati a operatrici) e delle macchine semoventi più recenti, i livelli sonori riscontrabili all'orecchio del conducente rimangono sempre al di sotto dei limiti di rischio di un danneggiamento irreversibile, nel tempo, dell'apparato uditivo dell'operatore.

A questo risultato si è giunti sia agendo attivamente sulle sorgenti di rumore (interventi attivi), sia conglobando il posto di guida in una cabina chiusa adeguatamente insonorizzata (interventi passivi). In particolare sono state messe a punto soluzioni atte a:

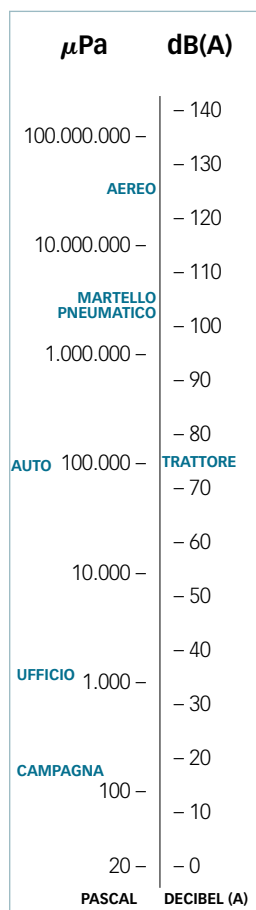
1. ridurre le sorgenti di vibrazione e rumore alla fonte;
2. ridurre l'ingresso in cabina di rumori provenienti da sorgenti esterne;
3. limitare vibrazioni di elementi della cabina;
4. cercare di evitare riflessioni di onde sonore all'interno della cabina.

Per quanto riguarda la limitazione attiva del rumore alla fonte, i costruttori hanno ridotto la **potenza sonora** (cioè le emissioni di rumore) di motore (intervenendo, ad esempio, sulla forma dei condotti dell'aria e dei gas di scarico), del gruppo cambio (gli ingranaggi a denti elicoidali risultano molto meno rumorosi di quelli a denti diritti) e delle pompe e dispositivi idraulici (idroguida compresa). Per ridurre l'ingresso in cabina dei rumori si verificano due tendenze:

- incremento della capacità di riflessione delle onde sonore da parte degli elementi della cabina tramite un aumento della loro rigidità (per ciò che concerne i vetri);
- diminuzione della capacità dissipativa verso l'interno della cabina delle parti in lamiera, che vengono rivestite con materiali **fono-assorbenti** quali il poliuretano espanso. Questo è poi a sua volta ricoperto, per motivi estetici e di durata, con diversi tipi materiali (gomma dura per il pavimento, finta pelle o materiale plastico per il resto delle superfici). Per ridurre al minimo le vibrazioni degli elementi della cabina, si rivela essenziale l'uso di **tasselli elastici** interposti tra la stessa e la struttura portante. Questa soluzione ha anche il vantaggio di preservare nel tempo la struttura metallica portante da microfrazioni da fatica.

Infine, per il quarto punto, pur adottando gli accorgimenti di cui sopra, una parte più o meno rilevante delle vibrazioni penetra in cabina e genera rumore; è necessario allora (per evitare che le onde sonore si riflettano tra le pareti) che sia applicato sistematicamente su tutte le superfici rigide (tetto, parafanghi, montanti laterali) lo stesso materiale fonoassorbente prima citato.

L'eventuale rivestimento con finta pelle deve essere traforato per almeno il 30% per evitare che questo materiale si comporti da elemento riflettente.



Peraltro, nonostante tutto quello che è stato fatto, esiste ancora il problema dell'elevato livello di rumore prodotto da alcune macchine operatrici che può peggiorare una situazione ormai accettabile per quanto riguarda il solo trattore. Ovviamente le azioni sulle macchine operatrici devono comportare anche in questo caso, interventi attivi e passivi di riduzione del fenomeno.

Infine, per rendere ancora minore il livello di rumorosità all'orecchio dell'operatore, si stanno studiando soluzioni attive che prevedono di produrre un "antirumore" che elida le onde sonore provenienti da fonti sonore con frequenza di emissione costante nel tempo.

## Controllo delle vibrazioni

Per valutare il pericolo e/o il danno arrecato agli operatori dalle vibrazioni prodotte dalle macchine agricole, sono in vigore parecchie norme di carattere generale, la più nota delle quali è sicuramente la **Direttiva Macchine** (2006/42/CE); per la misura del fenomeno vibrazionale sono invece frequentemente usate norme specifiche che vengono periodicamente aggiornate in base al progresso tecnico, come la ISO 2631, per il corpo intero, e la ISO 5349 per l'insieme mano-braccio.

L'effetto delle vibrazioni sull'operatore è complesso poiché, a differenza del rumore, che viene percepito solo tramite l'apparato uditivo, tutti gli organi del corpo umano sono sensibili, in diversa misura, alle vibrazioni, con diversi livelli di soglia e vari effetti dannosi.

Per quantificare correttamente il rischio di un fenomeno vibrazionale, è necessario considerare quattro parametri:

- A. l'intensità:** si misura quasi sempre in termini di accelerazione ( $m/s^2$ ) e fornisce un'idea di quanto ampio è lo scuotimento;
- B. la frequenza:** rappresenta il ritmo delle oscillazioni nel tempo. L'unità di misura è l'Hertz (Hz) che indica quante oscillazioni del corpo che vibra avvengono nell'intervallo di 1 secondo;
- C. l'asse di percezione:** sui veicoli, si avvertono in particolare le oscillazioni verticali (dovute all'impatto degli organi di propulsione con le irregolarità del terreno). Viceversa, il rollio, come quello di un'imbarcazione può essere considerato come una vibrazione (a bassissima frequenza) nella direzione trasversale;



**D. il tempo di esposizione:** è intuitivo che tanto più a lungo si subisce una vibrazione, tanto più pesanti e duraturi saranno gli effetti negativi.

In relazione alla **frequenza**, le vibrazioni possono essere utilmente classificate in tre categorie:

**1. a bassissima frequenza (< 2 Hz):** interessano il corpo intero. Causano il cosiddetto "mal dei trasporti" (mal di mare, mal d'auto, ecc.). Si tratta di un movimento oscillatorio-ellittico del capo, che porta a disturbi quali vertigini, sonnolenza, sudorazione fredda e, soprattutto, nausea. Gli effetti di tipo acuto scompaiono entro breve tempo dalla fine del moto vibratorio;

**2. a bassa frequenza (2-20 Hz):** anche in questo campo, gli effetti sono a carico del corpo intero. Questo tipo di vibrazione è prodotto da superfici vibranti; è il tipo più diffuso e dannoso nel settore delle macchine agricole. Provoca danni osteo-articolari, affezioni all'apparato digerente e circolatorio, turbe neuropsichiche;

**3. a frequenza medio-alta (20-1000 Hz):** agiscono negativamente in particolare sull'insieme mano-braccio. Sono prodotte da utensili o attrezzature (anche motorizzate) a uso manuale. I danni, sia di tipo acuto che cronico, sono costituiti da lesioni osteoarticolari, e formicolii, torpore delle dita e, nei casi più gravi, dalla sindrome di Raynaud (conosciuta anche

con il nome di sindrome della "mano morta" o "dito bianco"), che porta a una progressiva insensibilità, perdita di mobilità e paralisi dell'arto.

Anche per il **controllo delle vibrazioni**, possiamo distinguere due tipologie di interventi:

- **attivi**, miranti a una diminuzione della produzione di vibrazioni (con un guadagno anche per la diminuzione della rumorosità);
- **passivi**, tesi a impedire la trasmissione delle stesse.

Si agisce a livello del sedile di guida e del pavimento (o piattaforma) dell'abitacolo. Del sedile si è parlato in precedenza: il problema del dispositivo di sospensione è che deve essere tarato con attenzione, ancorché – quasi sempre, purtroppo – la regolazione risulti problematica a causa dell'approssimazione costruttiva e dell'indicazione del comando relativo.

L'altra possibilità per migliorare il comfort vibrazionale è intervenire sulla struttura della cabina, in particolare sulla piattaforma e sui suoi attacchi al trattore (tramite *silent-blocks*). Diverse e più avanzate soluzioni, quali la sospensione dell'intero corpo del trattore sul solo asse anteriore o su entrambi gli assi oppure di tutta la cabina di guida, sono presenti sul mercato. Delle soluzioni adottate nel primo caso già si è detto. Per la sospensione della cabina questa soluzione è stata adottata anche in versione autolivellante.

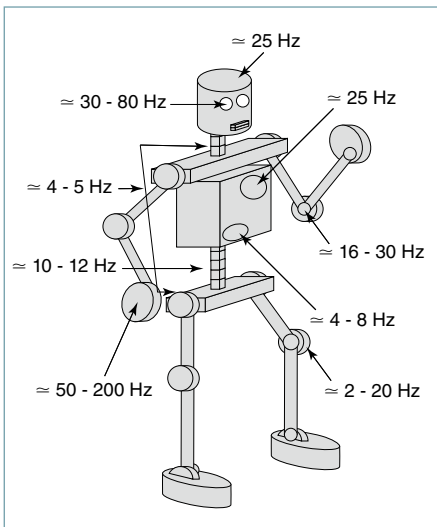


Figura 6.51. Modello antropomorfo indicante la sensibilità dei diversi organi alle vibrazioni a diverse frequenze.

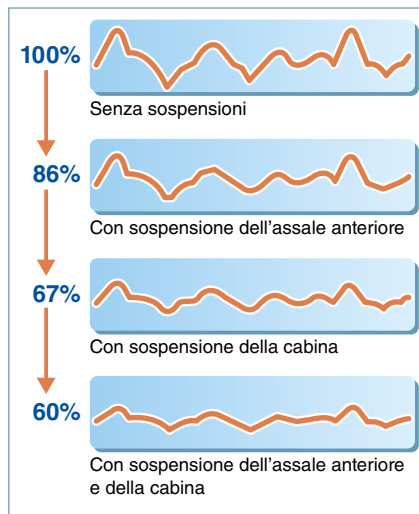


Figura 6.52. Verifica della riduzione delle vibrazioni in funzione del grado di tecnologia applicata.



Figura 6.53. Cabina isolata dal telaio mediante sospensioni pneumatiche.

## ✓ Esercizi

**E5.** Un trattore procede a una velocità  $V = 4 \text{ m/s}$ . Sulla strada sterrata sono presenti mediamente: 1 buca per metro ( $Db = 1 \text{ m}^{-1}$ ). Quale sarà la frequenza delle vibrazioni  $Fv$  trasmesse al conducente dal trattore che avanzando entra ed esce dalle buche?

**S5.**  $Fv = Db \cdot V = 1 \text{ (buca/m)} \cdot (4 \text{ m/s}) = 4 \text{ (buca/s)}$

ovvero, la frequenza sarà di  $4\text{Hz}$  poiché  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ .

Queste vibrazioni mandano in risonanza organi come la spina dorsale, il fegato e il ginocchio che, con l'andare del tempo, corrono il rischio di deformarsi.



### 3 Management informatizzato e agricoltura di precisione

#### Generalità

L'importanza dell'impiego delle macchine nel processo produttivo agricolo non è più legata al fatto che esse compiono la maggior parte del lavoro fisico per la trasformazione energetica dei fattori produttivi, ma anche al fatto che queste sono ormai in grado di assumere compiti "intelligenti", assumendo funzioni che fino a pochi decenni fa erano esclusivamente attribuite all'uomo. Tuttavia, si è anche visto che esiste una gerarchia di funzioni di monitoraggio e controllo e che, allo stato attuale dell'evoluzione tecnologica, solo alcune di queste, quelle meno complesse, possono essere agevolmente svolte dalle macchine.

Per realizzare ciò queste ultime, oltre agli **organi meccanici** di cui si è discusso, devono essere equipaggiate di **dispositivi elettronici** e **sistemi informatici** atti a raccogliere dati e, in base a questi, controllare e regolare il processo produttivo. Allo stato attuale delle conoscenze, questi dispositivi sono raggruppabili in due grandi gruppi: quelli che servono per realizzare **azioni di controllo in tempo reale** delle funzioni operative delle macchine, in un'ottica di agevolazione o automazione delle operazioni più semplici; quelli che servono a **gestire i processi sul medio periodo**, in un'ottica direttiva, agevolando decisioni mediamente complesse. Entrambe queste tecnologie sono poi da integrare nei cosiddetti **Sistemi Informativi Aziendali (SIA)** che costituiscono il supporto tecnologico indispensabile per consentire l'evoluzione delle aziende sempre più avanzata.

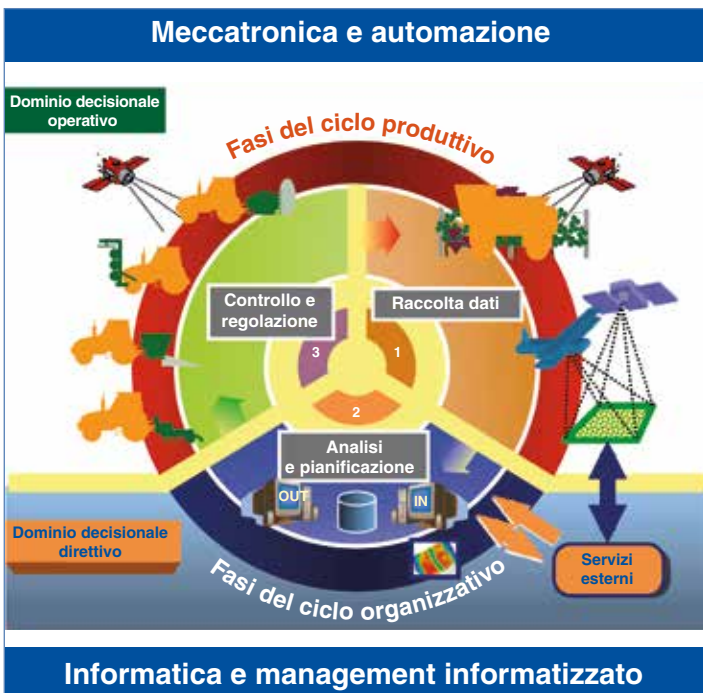


Figura 6.54. Interazioni tra diverse discipline che si occupano di raccolta ed elaborazione dei dati e loro impatto sulla meccanizzazione agricola.

#### L'automazione

Quando si prendono in considerazione le macchine agricole tradizionali, si pensa subito a tecnologie che tagliano e spostano il terreno (oppure tagliano le colture, raccolgono i prodotti, ecc.), cioè che utilizzano forze che provocano spostamenti, trasformando e modellando, attraverso il lavoro e mediante l'impiego di energia, la materia fisica del mondo concreto. Le innovazioni di più recenti, invece, sono relative all'introduzione nelle pratiche di lavoro di forme di monitoraggio e controllo che alleggeriscono le attività dell'uomo non in termini **manuali**, ma in termini di **lavoro mentale (intellettuale)**. Si pensi, ad esempio, alla guida di un trattore effettuata in modo manuale oppure attraverso sistemi di guida semiautomatica:

- nel primo caso, il trattorista deve rimanere concentrato alla guida, analizzando lo scenario nel quale si muove, per decidere quale direzione prendere;
- nel secondo caso, tutto questo lavoro di raccolta dei dati di contesto e di decisione su come sterzare il volante è assunto dal sistema di controllo, che sostituisce il lavoro intellettuale dell'uomo che può così, dedicare le proprie risorse mentali ad altre attività.

In questo ambito, il fatto che l'operatore non debba più agire sul volante è pressoché ininfluente in termini di sostituzione del lavoro manuale (e quindi di fatica fisica): prevale la diminuzione dell'affaticamento mentale!

Così, contrariamente a ciò che avviene con le tecnologie puramente meccaniche, il processo produttivo non è più visto solo come una conversione energetica di fattori iniziali, in cui il lavoro fisico interviene come unico motore della trasformazione, ma a fianco dell'elemento energetico sono

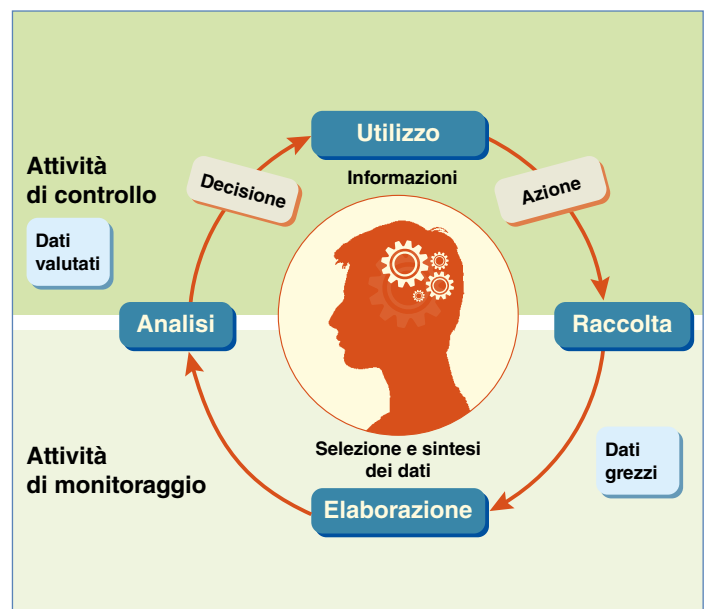


Figura 6.55. Oltre la meccanizzazione: rappresentazione del ciclo di monitoraggio e controllo.

necessari altri due fattori fondamentali: l'**informazione** derivante dal **monitoraggio del sistema** e il **controllo del medesimo**. All'interno di un ciclo di controllo completo la parte di lavoro meccanizzato, che richiede energia di processo, viene messa in contatto con un sistema di segnali che seguono il processo di trasformazione in modo parallelo. Il processo produttivo è quindi rappresentabile da una parte materiale (sottoposta a trasformazione energetica) e da una parte immateriale (di elaborazione di segnali). Quando queste due parti sono direttamente connesse tra loro e l'intervento umano è limitato si parla di automazione e si dice che le macchine impiegano delle **tecnologie mecatroniche**.

Tuttavia, si deve anche sottolineare che il lavoro intellettuale, che si sostituisce attraverso cicli di monitoraggio e controllo, non può essere tutto meccanizzato (automatizzato) in ugual modo poiché ne esistono diverse forme.

Per capire ciò è innanzitutto necessario definire che cosa sia un ciclo di monitoraggio e controllo; esso implica sempre delle operazioni di base che coinvolgono le seguenti fasi:

1. **Chi sei, cosa sei?** → **Identificazione**
2. **Cosa fai?** → **Sensori** → **Misura**
3. **Come posso migliorare le prestazioni?** → **Software e analisi** → **Azioni**

La prima fase si realizza attraverso l'**identificazione**, con la quale il sistema di controllo sceglie tra diversi oggetti, stadi o posizioni quello che deve essere preso come riferimento per effettuare il ciclo. L'identificazione può restare costante nel tempo su più cicli (ad esempio si riconosce una macchina all'inizio di un lavoro in campo e per tutta l'attività di processo rimane la medesima), oppure variare per ogni ciclo (si riconosce la posizione della macchina all'interno dell'appezzamento). In ogni caso, quest'operazione risulta fondamentale e può essere eseguita in modo diretto (derivando il dato di *input* da un sensore dedicato al riconoscimento), oppure indiretto (impiegando un dato di *input* che rimane costante nella memoria del sistema o una specifica procedura *software*). La seconda fase riguarda la **misurazione di una quantità** che è inerente allo stato dell'elemento identificato e solitamente viene eseguita per mezzo di sensori. Sempre con riferimento al caso della macchina, la misura può riferirsi alla sua velocità di avanzamento.

La terza fase è quella della **regolazione**: sulla base del dato misurato nella seconda fase e di una regola (un algoritmo se si parla nel linguaggio informatico), si modifica lo stato dell'elemento identificato avvicinandolo a una condizione più vantaggiosa in termini di efficienza del lavoro. In generale questa operazione è a carico della logica del sistema, realizzata, a seconda dei tipi di tecnologie (idraulica, meccanica o elettronica), con componenti di regolazione meccanici, idraulici o elettronici. In quest'ultimo caso, cioè quello dei componenti mecatronici (che è quello maggiormente utilizzato attualmente nel comparto delle macchine agricole), si usano algoritmi matematici attivati da *software* di analisi. Il ciclo

di monitoraggio e controllo può anche essere visto nei termini rappresentati nella Figura 6.55. Il ciclo inizia con l'attività di monitoraggio parte sottostante nella Figura 6.55: in un primo tempo, prevede che si effettui la raccolta (registrazione) dei **dati grezzi** relativi alla identificazione e alla misura dello stato in cui l'elemento si trova. Una volta raccolti, questi dati grezzi devono essere selezionati e sintetizzati attraverso un processo di **elaborazione**. Solo a questo punto i dati sono interpretati, attraverso la fase di **analisi**.

L'*output* dell'attività di monitoraggio costituisce l'informazione che diventa *input* per l'attività di controllo. Ciò rende più chiara quindi la differenza tra dato e informazione. Il primo è un *input* del processo di monitoraggio, l'informazione è invece l'*output*. Quest'ultima è indispensabile per far sì che l'**algoritmo** decisionale del sistema utilizzi il risultato delle attività di monitoraggio per effettuare le azioni di regolazione e, quindi, di miglioramento delle prestazioni dell'elemento sottoposto a controllo. Quanto fin qui descritto rappresenta la forma più generale di lavoro intellettuale che le nuove tecnologie sono deputate a sostituire e rappresenta il concetto per cui queste attività, in genere, sono svolte nella mente umana ed è proprio questo lavoro del cervello che può essere preso in carico dai diversi dispositivi di regolazione. Tecnicamente, poi, rifacendosi all'automazione industriale (Fig. 6.56), caso per caso, applicazione reale per applicazione reale, si usa suddividere i controlli in una **struttura gerarchica** che, passando da quelli semplici di campo agenti sulla singola operazione eseguita dal singolo elemento della singola macchina, si integrano in una organizzazione verticale che può arrivare a livelli di complessità anche elevati, a seconda del sistema sottoposto a dominio.

Nelle aziende agricole questo tipo di tecnologia trova i suoi livelli più spinti di applicazione nel **settore zootecnico**, dove in alcuni casi le attività di gestione degli animali sono messe sotto controllo integrato. Si pensi, ad esempio, agli allevamenti di bovine da latte, dove vengono impiegati sistemi di mungitura automatizzati in grado di

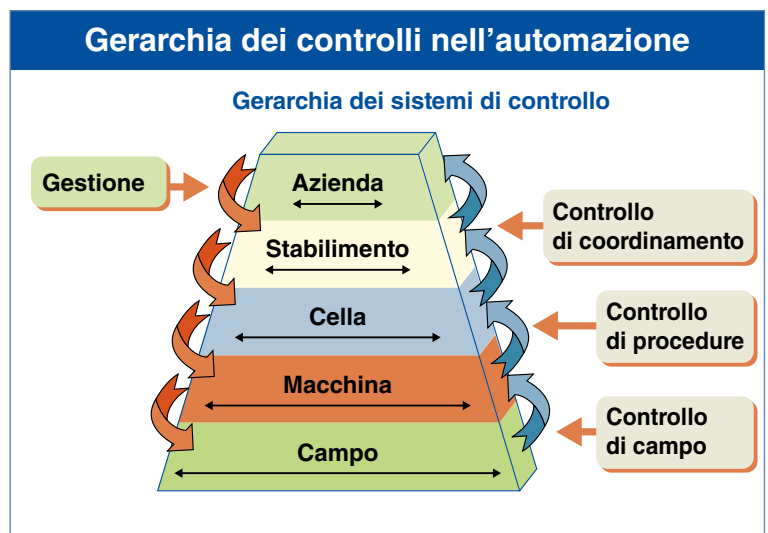


Figura 6.56. Esempio di gerarchia dei controlli nel sistema industriale.

determinare il funzionamento delle singole unità, in modo da gestire il traffico delle bovine in funzione della massimizzazione dell'efficienza delle singole unità robot impiegate e, attraverso i dati raccolti, di determinare e distribuire, con apposite macchine in grado di preparare e fornire tutti gli alimenti zootecnici senza l'intervento umano, una dieta differenziata ai singoli soggetti, lasciando all'uomo solo l'attività di gestione (*management*) dell'azienda nel suo complesso.

## Il management informatizzato

Quando le macchine sono pensate anche al fine di svolgere la funzione di **raccolta di dati**, esse devono essere viste e impiegate nel quadro complessivo dei problemi gestionali di un'impresa e, quindi, è necessario che la loro scelta venga valutata in connessione con le problematiche relative alla creazione di un SIA più complesso, di supporto alle decisioni gestionali dell'azienda. In altri termini il medesimo ciclo di monitoraggio e controllo oltre che essere visto per essere utilizzato – attraverso elaborazioni in tempo reale – per prendere decisioni immediate di automazione, deve prevedere un utilizzo differito dei dati

nel tempo, passando così attraverso una necessaria fase di archiviazione dei medesimi, con eventuale integrazione e sintesi degli stessi con altri dati raccolti in epoche diverse (Fig. 6.57).

Esso si chiude sempre con la fase dell'utilizzo delle informazioni. Tuttavia, la presa di una decisione che, nel caso dell'automazione, prendeva prevalentemente la via del controllo dei processi aziendali (freccia 3 in Figura 6.59) per il *management* informatizzato in molti casi prende la via della certificazione verso enti terzi (di conformità rispetto a processi definiti in disciplinari di produzione o a standard di qualità dei prodotti, freccia 4 in Figura 6.59), nel qual caso la decisione si concretizza poi in una attività di documentazione.

Per queste ragioni:

- **i sistemi di automazione di processo** includono i componenti *hardware* o *software* adibiti al trattamento delle informazioni connesse ai singoli processi o eventi aziendali che sono basati sulla tecnologia *embedded*, cioè basata su macchine di calcolo essenzialmente integrate nelle macchine e negli impianti. Per garantire la massima efficienza nella gestione – sempre più spesso automatiz-

## Struttura dei sistemi informativi aziendali

I **Sistemi Informativi Aziendali (SIA)** costituiscono il supporto tecnologico di gestione dell'informazione a fini decisionali aziendali. Più in particolare, all'interno dei SIA, i sistemi di automazione sviluppano le decisioni di livello più semplice (Fig. 6.58) e riguardano l'infrastruttura di raccolta dati su cui poggia l'attività esecutiva a bordo delle macchine. Come si vede nella stessa figura, l'attività di monitoraggio si chiude subito sull'attività decisionale attraverso il percorso identificato con la freccia 1.

Grazie a questo tipo di sistemi l'azienda svolge tutte le principali funzioni operative: dalla gestione delle operazioni di campo e di stalla alla vendita dei prodotti o all'erogazione di servizi, fino agli eventuali supporti per l'amministrazione e la contabilità.



**Figura 6.58.** Struttura dei SIA, in evidenza il ciclo di trasformazione dei dati grezzi in informazioni. È opportuno distinguere le fasi relative alle attività di monitoraggio (raccolta dati ed elaborazione dei dati) da quelle connesse ai processi decisionali (analisi, valutazione e utilizzo dei dati).

Si tratta di soluzioni che aiutano nella gestione di problemi ben strutturati, ovvero di problemi per i quali è possibile fissare a priori una sequenza di passaggi elementari da compiere per arrivare a una soluzione.

Le funzioni principali di questa sezione del sistema informativo aziendale riguardano:

- il **monitoraggio** del contesto produttivo nei suoi vari aspetti per supportare le decisioni finalizzate al controllo dell'attività operativa;
  - la **documentazione**, secondo tempi, modi e procedure variabili in funzione sia delle figure decisionali interne che la richiedono, sia di eventuali figure esterne all'azienda, ma con essa coinvolte in attività di certificazione o controllo funzionale;
  - il **controllo operativo**, ovvero la capacità di guidare un responsabile/esecutore attraverso procedure e flussi predefiniti e controllati, con poche possibilità di incorrere in errori, con l'obiettivo di giungere alla capacità di rendere automatica – o semiautomatica – l'esecuzione dei singoli eventi.
- In definitiva, per questa parte del SIA risultano fondamentali:
- le **procedure**, attraverso cui si definiscono i corretti flussi di informazione e si guidano gli operatori nella loro attività quotidiana, esecutiva o di controllo operativo;
  - la **base di dati**, che deve essere strutturata in modo tale da fornire buone prestazioni in relazione alla tipologia e al numero di operazioni effettuate dagli utenti e gestite dal sistema.

Infatti, il punto focale di questo componente di base del SIA riguarda esclusivamente la base di dati, che nei settori dell'industria e del terziario, assume esplicitamente il nome diverso di *data warehouse* (magazzino dei dati), a indicare la sua assoluta centralità. Esso deve essere:

- **altamente strutturato** sia per contenere tutti i possibili dati indispensabili al processo decisionale, sia per ridurre i tempi della loro interrogazione;

zata – dei processi operativi devono garantire un'elevata interattività sistema-utente in fase sia di monitoraggio (modifica o ricerca di informazioni puntuali) sia di controllo dell'avanzamento dei processi;

■ **i sistemi di management informatizzato** includono componenti tecnologici in genere non integrati nelle macchine e impianti, adibiti all'analisi interattiva dei dati da parte di un ristretto numero di responsabili, per garantire la massima efficienza nell'elaborazione dei dati di sintesi e la massima flessibilità nelle interrogazioni.

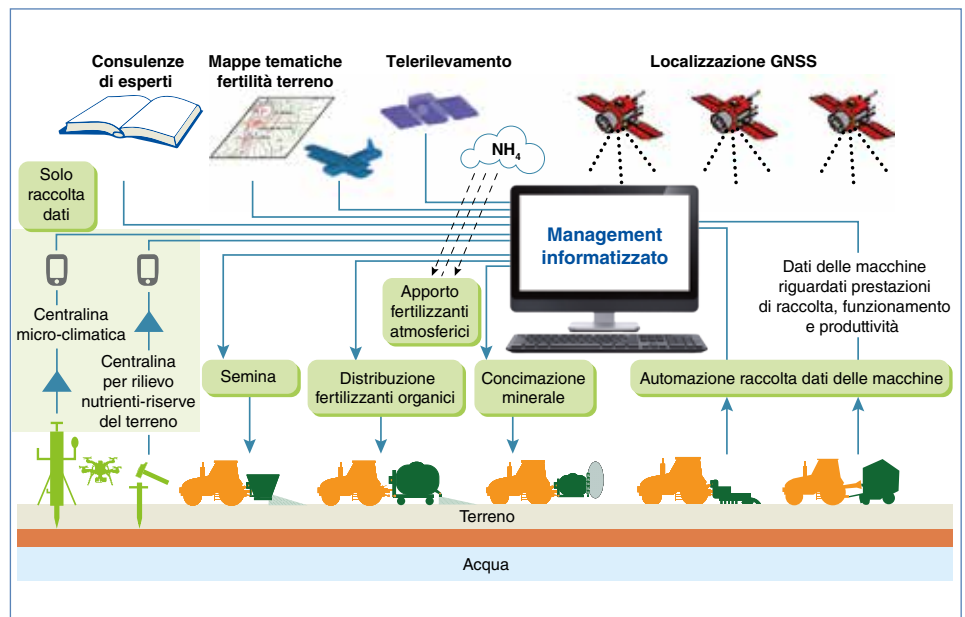


Figura 6.57. Ruolo delle macchine agricole e di calcolo nel contesto dei cicli di trasformazione dei dati per il controllo delle coltivazioni.

- **periodicamente aggiornato** con dati coerenti, completi, corretti e attendibili (necessaria, in tal senso, la sua integrazione con i componenti del sistema di automazione per attingere ad aggregazioni ottenibili da dati raccolti col monitoraggio);
- **permanente**, ovvero l'esito di una sintesi deve essere sempre lo stesso, indipendentemente dal momento o dalla modalità dell'interrogazione dei dati;
- **facilmente interrogabile** secondo criteri variamente articolabili e percorsi liberi (sono previste periodiche funzioni di aggiornamento automatico).

Per contro, i processi decisionali dei livelli superiori (direttivo e strategico) riguardano scelte di vario orizzonte temporale, spesso legate alla pianificazione delle attività aziendali. Come si vede in **Figura 6.59**, nel *management* informatizzato l'attività di monitoraggio non si chiude repentinamente, come nel caso delle attività di automazione, sull'attività decisionale, ma intraprende il percorso contrassegnato con 2, che prevede una prima fase di elaborazione (sempre nel contesto del monitoraggio) e una seconda fase di analisi ed elaborazione (nel contesto del controllo).

Queste fasi del processo di norma non sono standardizzabili né tanto meno riconducibili a procedure automatizzate (problemi strutturati o semistrutturati); infatti, esse sono influenzate dai modelli di realtà che i singoli decisori utilizzano soggettivamente per effettuare le scelte. I sistemi adatti a questo scopo sono pensati per supportare il processo decisionale seguendo i passaggi logici del decisore e offrendogli, nel contempo, la possibilità di avere visioni diversamente organizzate dei dati.

In tal senso, risultano fondamentali gli strumenti che potenziano le capacità di analisi dei decisori attraverso: analisi interattive; raffronti comparativi tra diversi quadri di sintesi; strumenti di ricerca di correlazioni, singolarità e aggregazione dei dati;

simulazioni condotte a partire dai dati operativi ipotizzando scenari per il futuro.

La natura delle informazioni direzionali prevede:

- **l'aggregazione dei dati**, in quanto le decisioni richiedono informazioni sintetiche, anche per poter effettuare valutazioni comparative sulle decisioni attuate in passato;
- **la profondità temporale**, poiché molte valutazioni richiedono di quantificare uno o più indicatori attraverso opportune linee di tendenza; spesso, è indispensabile il raffronto tra i dati attuali e quelli di analoghi periodi in anni precedenti; per tale motivo, il sistema di *management* informatizzato deve poter effettuare l'integrazione tra i dati operativi correnti (forniti dal sistema operativo) con i dati storici; come tale, il sistema è responsabile della gestione della memoria storica aziendale;
- **la ricerca per soggetto**, anziché per evento; mentre per il controllo operativo è indispensabile seguire i passaggi elementari dei singoli processi, nel controllo direttivo prevale l'analisi su entità aziendali aggregate; in tal senso, si parla anche di analisi per centri di costo; per esempio, è più utile conoscere costi e tempi di esecuzione delle arature svolte su mais nell'anno corrente, piuttosto che analizzare i dettagli di ogni singola operazione eseguita su uno specifico appezzamento in una certa data;
- **l'analisi multidimensionale**, nel senso che uno degli aspetti fondamentali del processo decisionale riguarda il poter incrociare e correlare informazioni di natura diversa, ovvero poter guardare gli eventi aziendali da differenti punti di vista. Il sistema deve, pertanto, consentire la ricerca di dati che corrispondano a coordinate di interesse per il decisore; per esempio, analizzare le rese di una coltura per tipo di lavorazioni del terreno praticate, per dosi di concimazioni e/o trattamenti eseguiti, per tempestività di esecuzione dei lavori, ecc.

## Agricoltura di precisione e sito-specifica

Le tecniche fino a qui descritte per la meccanizzazione di precisione consentono di realizzare la cosiddetta agricoltura di precisione per aspetti che riguardano l'adozione di:

- sostituzione più o meno spinta della guida manuale;
- tecnologie di automazione delle regolazioni **DPA (Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento)** e della larghezza di lavoro direttamente in campo.

Nel primo caso si ottiene la realizzazione di traiettorie più precise, migliorando la capacità di lavoro delle macchine ed eliminando le sovrapposizioni che si verificano tra una passata e l'altra. Nel secondo, i benefici riguardano:

- la costanza delle dosi distribuite;
- l'adeguamento della larghezza di lavoro delle diverse macchine distributrici alla forma e alla dimensione dei campi;

- l'interruzione dell'erogazione di sementi, concimi e prodotti fitosanitari in testata, in modo da evitare le sovrapposizioni.

In entrambi i casi, si tratta di tecniche che risolvono problematiche essenzialmente di tipo operativo, basate su sistemi informativi molto semplici che, in molti casi, non richiedono praticamente nessuna abilità informatica all'operatore per metterle in atto.

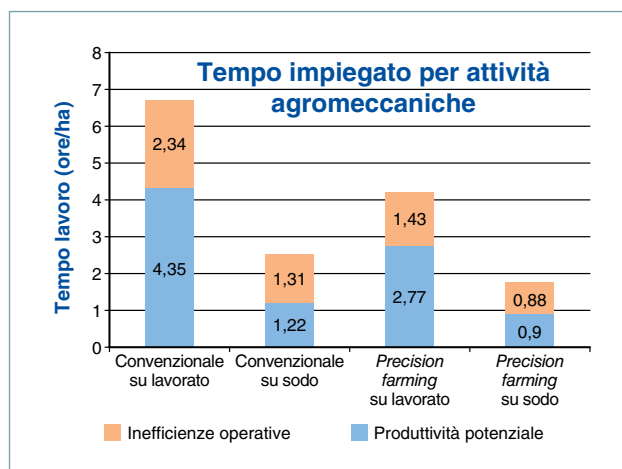
Altre esigenze di *management* informatizzato sono soddisfatte, per quanto riguarda il monitoraggio operativo e le decisioni gestionali direttive, con l'impiego di **sistemi di supporto alle decisioni (SSD)** e dei cosiddetti **Quaderni di campagna informatizzati**.

Tuttavia, non si avrebbe una descrizione completa delle tecnologie se non si affrontasse anche il tema della gestione sito-specifica delle coltivazioni, basata sull'impiego di **VRT macchine a rateo variabile** (Fig. 6.60).

### Benefici dovuti all'azione delle tecniche di meccanizzazione di precisione

Le funzionalità di automazione finora descritte permettono di: garantire un minore affaticamento dell'operatore, consentendogli di sfruttare al massimo il Periodo utile (Pu) di svolgimento delle operazioni; incrementare la Capacità effettiva di lavoro ( $C_e$ ), grazie a una crescita di 5-10 punti percentuali di  $\eta_e$  e delle velocità di lavoro ( $V_e$ ) che tipicamente aumentano come riportato in **Tabella 6.10** e in **Figura 6.59**; diminuire conseguentemente i costi di esercizio delle macchine; risparmiare sementi, concimi e prodotti fitosanitari grazie alla riduzione delle sovrapposizioni tra passaggi successivi. A ciò si aggiunga il fatto che il monitoraggio eseguito dalle attrezzature impiegate fornisce dati per le operazioni di *management* informatizzato.

**Figura 6.59.** Confronto fra produttività di cantieri con macchine normali ed equipaggiate con tecnologia di agricoltura di precisione impiegate in lavorazioni convenzionali e su sodo.



OPERAZIONE		VELOCITÀ (km/h) GUIDA MANUALE	VELOCITÀ (km/h) GUIDA CON SISTEMI DI PRECISIONE
Lavorazioni terreno	aratura	4-7	7-12
	erpicatura a traino	6-10	10-15
	erpicatura p.d.p.	5-10	8-12
	fresatura zappatura p.d.p.	2-4	2-4
Concimazione	organica	4-7	8-10
	minerale	5-10	12-15
Semina	a righe tradizionale	6-10	10-12
	a righe su sodo	6-8	10-12
	di precisione (sodo e tradizionale)	6-8	10-12
Trattamenti	diserbanti e prodotti fitosanitari	6-10	12-15
Raccolta foraggi	sfalcio	6-12	15-20
	fienagione	6-10	12-15
Pulizia fossi		0,5-1,0	1-2

**Tabella 6.10.** Incremento delle velocità di lavoro di alcune operazioni agricole passando dalla guida manuale a operazioni con guida e controlli tipici della meccanizzazione di precisione (valori tendenziali).

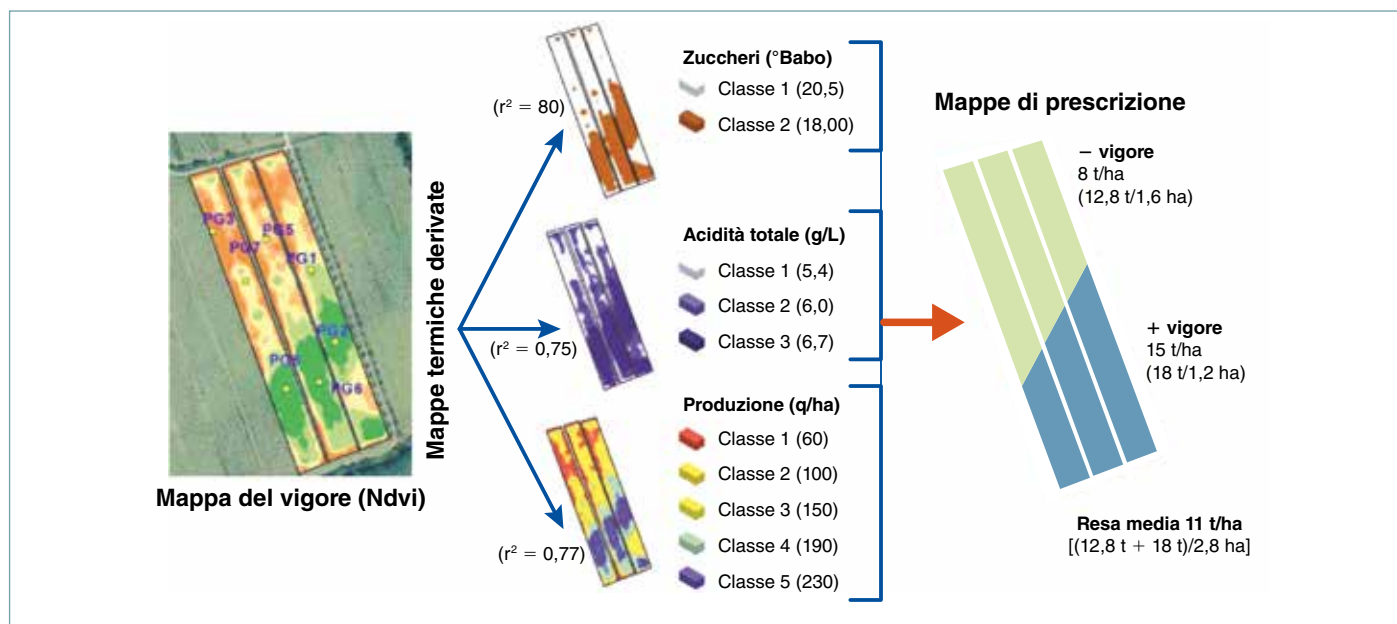


Figura 6.60. Preparazione mappa prescrittiva per lavorazione sito specifica. (Fonte: Brancadoro et al.).

## Modelli di calcolo per la valutazione delle macchine agricole

Nell'agricoltura moderna, caratterizzata da investimenti ad alta intensità di capitale, le spese per la meccanizzazione aziendale giocano un ruolo sempre più rilevante, costituendo spesso l'elemento principale che influenza la redditività dell'impresa agraria e le sue condizioni finanziarie. Per le diverse colture di pieno campo (cereali, industriali, orticole, ecc.), il costo imputabile alle varie componenti meccanizzate (impianti fissi inclusi) è il fattore che maggiormente condiziona le economie di scala del sistema aziendale.

Mentre, infatti, l'incidenza dei costi dei fattori a logorio totale per unità di superficie è pressoché costante, i costi di meccanizzazione (manodopera esclusa) incidono sui costi totali di produzione per: il 30-45%, nel caso di aziende a limitata estensione (indicativamente inferiori ai 20 ha); il 13-20% nelle aziende di grandi dimensioni (maggiori di 80 ha).

Pertanto, una razionale definizione dell'assetto strategico del parco macchine rappresenta un'esigenza prioritaria per qualunque tipo di azienda.

È anche in base a tali motivazioni che si spiegano le attività messe in atto, da diversi istituti di ricerca del settore, per pervenire allo sviluppo di idonei **Sistemi di Supporto alle Decisioni (SSD)**. Si tratta di specifici modelli informatizzati in grado di rappresentare – a vari livelli – il comportamento di sistemi produttivi agrari in cui la meccanizzazione viene “modellata” tenendo conto del suo ruolo trasversale all'interno della struttura produttiva (nel senso che essa condiziona il comportamento di ogni comparto produttivo presente in un'azienda agraria: attività di campo, stalle, essiccazione, conservazione dei prodotti, ecc.). Lo sviluppo di SSD per il settore agricolo è proseguito di pari passo con l'evoluzione delle tecnologie informatiche.

Tuttavia, a causa di alcune specificità rilevanti per questo settore (competenze culturali e professionali, disponibilità

finanziarie cronicamente limitate, prevalere di attività scarsamente redditive), la loro diffusione non ha mai raggiunto i livelli che si sono potuti osservare nei settori industriale e terziario. In generale, un sistema SSD è costituito da un pacchetto *software* (ovvero, da un insieme di programmi) in cui è possibile distinguere:

- un insieme di strumenti per l'organizzazione e la gestione dei dati (parametri, costanti, dati di sintesi commerciali, ecc.); il tutto di norma strutturato in **database**;
- un insieme di **procedure di calcolo** per elaborare le informazioni e interpretare i risultati in base a specifici approcci modellistici (solitamente diversi in base: alla presenza di eventuali procedure di ottimizzazione; alla dinamicità con cui vengono simulati i comportamenti delle varie entità in gioco; alla possibilità di tener conto, o meno, della casualità dei fenomeni);
- una **interfaccia utente**, per una efficiente e comprensibile gestione interattiva di dati di *input* e *output*.

Vi è da dire che non sempre un SSD destinato al settore agrario include dei modelli di meccanizzazione adeguati al ruolo che competono alla meccanizzazione all'interno dell'azienda agraria.

Ciò, in genere, avviene quando prevalgono gli interessi a valutare il comportamento biofisico di un sistema produttivo (esempio: sistemi colturali con simulazione delle rese produttive; sistemi zootecnici con valutazione dei bilanci d'azoto) rispetto alle sue esigenze organizzative e gestionali. Per trattare adeguatamente sul piano modellistico un sistema meccanizzato, si devono necessariamente includere tre fasi di analisi:

- definizione della struttura del sistema meccanizzato;
- valutazione delle sue prestazioni operative;
- valutazione delle sue prestazioni economiche.

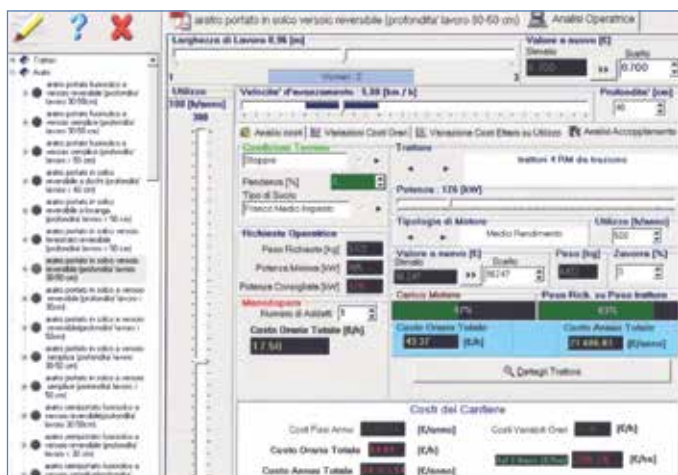


Figura 6.61. Esempio di finestra di dialogo e inserimento dati per l'analisi e la valutazione dei costi di esercizio tramite appropriato software di calcolo.

E ciò può esser svolto in SSD a un diverso grado di complessità, a seconda che il sistema meccanizzato consideri il singolo accoppiamento trattore-operatrice, un cantiere di lavoro articolato su più operazioni, l'intero parco macchine aziendale.

L'utilità di un SSD risiede nella possibilità di impostare in modo rapido e preciso un insieme di **valutazioni mirate a casi di studio particolari**. E ciò senza eccessive perdite di tempo nel reperire tutti i dati (parametri) necessari a ricostruire il comportamento delle macchine secondo le proprietà. Tutto quanto richiesto, infatti, deve essere disponibile all'interno di specifici *database*, normalmente nascosti all'utente.

Quest'ultimo, in genere, deve limitare la propria interazione col SSD alla modifica dei dati che definiscono il contesto ambientale di impiego delle macchine (superfici da lavorare, ore disponibili, tipi di terreno, colture praticate, ecc.), potendosi così concentrare più sulla natura e qualità dei risultati ottenuti che non sulla necessità di reperire dati normalmente non facilmente accessibili.

Un discorso a parte meritano i dati commerciali. Le varie tipologie di macchine considerate in un modello, infatti, devono poter prevedere periodici aggiornamenti riguardanti:

- l'eventuale aggiunta di nuove tipologie proposte dal mercato;
- la gamma di dimensioni commerciali localmente disponibili;
- i valori a nuovo stimati sulla base delle specifiche dimensioni reali previste per ogni modello della tipologia in questione.

È opportuno, infine, che l'interfaccia tra SSD e utente finale sia la più semplice possibile, eventualmente arricchita anche con risultati presentabili in forma grafica per una più esaustiva comprensione dei fenomeni.

## Quaderni di campagna per il management informatizzato

L'automazione del monitoraggio operativo è oggi possibile attraverso l'applicazione dei cosiddetti **Quaderni di Campagna Informatici (QCI)**. In sintesi, si tratta di soluzioni tecnologiche che consentono di monitorare – parzialmente o integralmente – in modo del tutto automatico le operazioni meccanizzate di campo di una impresa agraria, fornendo

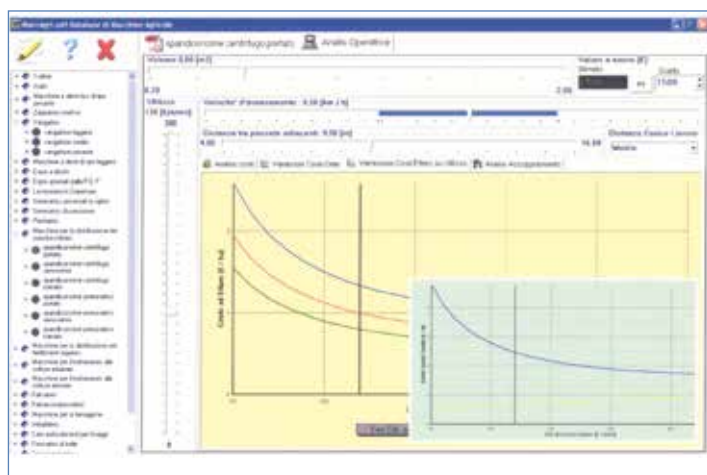


Figura 6.62. Esempio di analisi, e restituzione grafica, dell'andamento dei costi di esercizio proposto dal software.

informazioni di dettaglio sulle modalità di svolgimento delle operazioni.

E ciò fino a giungere alla possibilità di visionare mediante animazioni grafiche su mappe digitalizzate, le varie dinamiche di esecuzione dei lavori.

I dispositivi di rilevazione dei QCI si basano su processi di **identificazione a distanza**, dove trattori e macchine operatrici – opportunamente attrezzati – si comportano, rispettivamente, come sistemi ricognitori (e di registrazione dati) e oggetti da riconoscere (l'identificazione di un'operatrice comporta il contestuale riconoscimento della tipologia di operazione svolta dall'operatrice). Quando la tecnologia QCI è estesa a tutti i mezzi aziendali, nel suo insieme è in grado di costruire e mantenere aggiornato in modo del tutto automatico il *database* relativo alla cosiddetta memoria storica aziendale.

Come tale, questo strumento è destinato a costituire l'ossatura principale di qualunque sistema informativo per aziende agricole. Le architetture applicative di questa tecnologia possono prevedere diversi gradi di complessità, a seconda dell'oggetto e degli obiettivi del monitoraggio. Dal punto di vista organizzativo, il monitoraggio può essere:

- **parziale**: quando prevede la registrazione di un limitato numero di operazioni aziendali;
- **globale**: quando vengono monitorate tutte le attività aziendali.

Dal punto di vista delle capacità di osservazione, il monitoraggio può essere a:

- **ricognizione autonoma**: quando viene automaticamente rilevato il tipo di operazione svolta; in tal caso si rende necessaria la presenza di un sistema di identificazione;
- **ricognizione assistita**: quando le varie attività registrate devono essere classificate manualmente dall'operatore incaricato della gestione dei dati.

Ancora, dal punto di vista costruttivo, il monitoraggio può essere realizzato con architetture (Fig. 6.63):

- **tractor-oriented**: quando l'unità centrale del sistema di acquisizione è installata a bordo del trattore;



■ **implement-oriented**: quando l'unità centrale del sistema di acquisizione è installata a bordo della macchina operatrice.

Infine, dal punto di vista dell'attivazione del sistema di acquisizione dati, il monitoraggio può essere allestito con dispositivi di:

- **accensione automatica**: l'unità centrale del sistema di acquisizione si attiva autonomamente, nel momento in cui ha inizio l'utilizzo del mezzo su cui è installata;
- **accensione manuale**: l'unità centrale del sistema di acquisizione richiede di essere attivata manualmente dall'operatore responsabile dell'utilizzo del mezzo, nel momento in cui ritiene opportuno dare inizio alla fase di monitoraggio (tale situazione, ovviamente, comporta seri rischi di perdite di dati).

A livello pratico, si possono avere più combinazioni realizzative delle suddette classificazioni.

Per esempio, nel caso di un monitoraggio a ricognizione autonoma con dispositivi *tractor-oriented*, a seconda del numero e della tipologia delle macchine operatrici allestite con trasmettitore RF per la loro identificazione automatica, i quaderni prodotti potranno risultare di tipo: a) **globale**: se tutte le macchine sono attrezzate con un trasmettitore di codice; b) **parziale**: se solo un ristretto numero di macchine, solitamente adibite allo svolgimento di operazioni omogenee, viene dotato dei trasmettitori di riconoscimento.

Quest'ultimo caso potrebbe riguardare, ad esempio, il monitoraggio delle operazioni adibite ai trattamenti fitosanitari delle colture (informatizzazione del Quaderno "trattamenti aziendali").

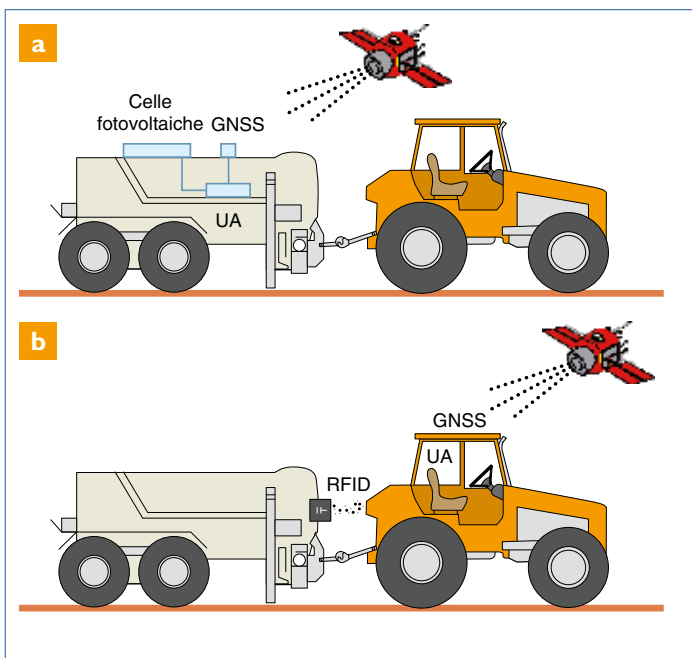


Figura 6.63. Architetture costruttive dei QCI. Differiscono per la possibilità di installare le unità di acquisizione dati UA e il GNSS o direttamente sulle operatrici (a - implement oriented) o a bordo dei trattori (b - tractor oriented).

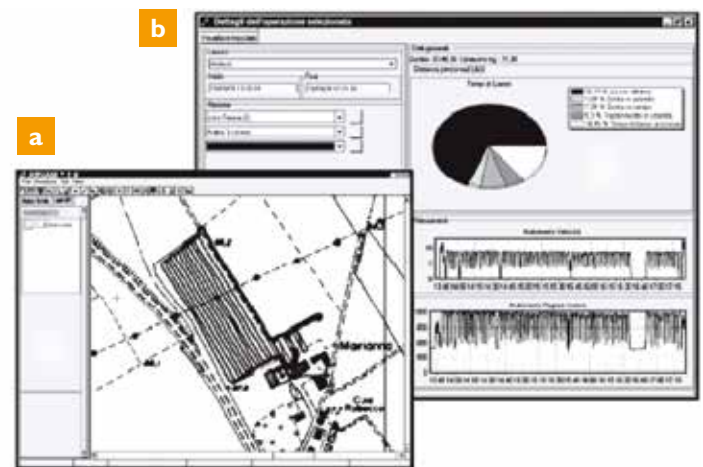


Figura 6.64. Soluzioni software per i Quaderni di campagna informatici: (a) visualizzazione dei tracciati delle operazioni su supporti GIS; (b) dettagli operativi dei lavori svolti.

Operazione e campo	Data e ora	Operazione + mezzi	Quantità
Trattatore agricolo 48M 101-1019	26/09/2008 15:50	Trattore agricolo 48M 101-1019	2.410
Trattore agricolo 48M 101-1019	26/09/2008 15:50	Trattore agricolo 48M 101-1019	2.410
Trattore agricolo 48M 101-1019	26/09/2008 15:50	Trattore agricolo 48M 101-1019	2.410
Trattore agricolo 48M 101-1019	26/09/2008 15:50	Trattore agricolo 48M 101-1019	2.410
Trattore agricolo 48M 101-1019	26/09/2008 15:50	Trattore agricolo 48M 101-1019	2.410

Figura 6.65. Esempio di interfaccia software di un Quaderno di campagna informatizzato.

Le architetture *implement-oriented*, ovviamente, risultano sempre necessariamente combinate con soluzioni di monitoraggio parziale a ricognizione assistita.

I problemi costruttivi relativi a queste soluzioni riguardano la necessità di allestire la macchina con idonei sistemi di alimentazione (batterie e/o celle fotovoltaiche) per superare alle necessità di funzionamento del sistema di monitoraggio indipendentemente dalla presenza del sistema di alimentazione del trattore.

## Gestione sito-specifica dei campi

Per gestione sito-specifica ci si riferisce al gruppo delle tecnologie *software* e *hardware* che, in genere, integrando le tecnologie precedenti, sono in grado di realizzare l'erogazione di sementi, concimi e prodotti fitosanitari in base alle specifiche esigenze di aree di lavoro su scala di sub-appezzamento. Nella logica ISOBUS i comandi di controllo destinati alle macchine in grado di eseguire le operazioni sito-specifiche appartengono alla categoria *task controller* TC-GEO. Le tecniche sito-specifiche trovano il loro ambito applicativo di elezione in campi, in genere di dimensioni rilevanti, dove la variabilità interna, nella sua globalità, assume valori elevati.

In questo contesto si può quindi parlare di tecnologie, tecniche e metodiche di lavoro in pieno campo, che consentono la possibilità di trattare in modo differenziato singole aree omogenee di terreno, delle quali si conoscano le effettive caratteristiche produttive (Fig. 6.66).

Pertanto, l'adozione di tecniche sito-specifiche consente l'automazione delle attività di controllo operativo in campo e la regolazione delle dosi distribuite, il trattorista viene così in parte esentato dalle funzioni di regolazione delle macchine distributrici.

Ciò è particolarmente utile quando si impiegano tecniche VRT a **comando diretto**, per la distribuzione a rateo variabile di fattori basati sull'impiego di sensori a ultrasuoni o ottici per il rilievo della biomassa vegetale presente e/o del vigore vegetativo. Tali sensori, accoppiati a specifiche macchine di calcolo, possono determinare direttamente in campo, in base ad apposite curve di taratura, le dosi da distribuire e agire in tempo reale sugli attuatori che modificano le portate in gioco.

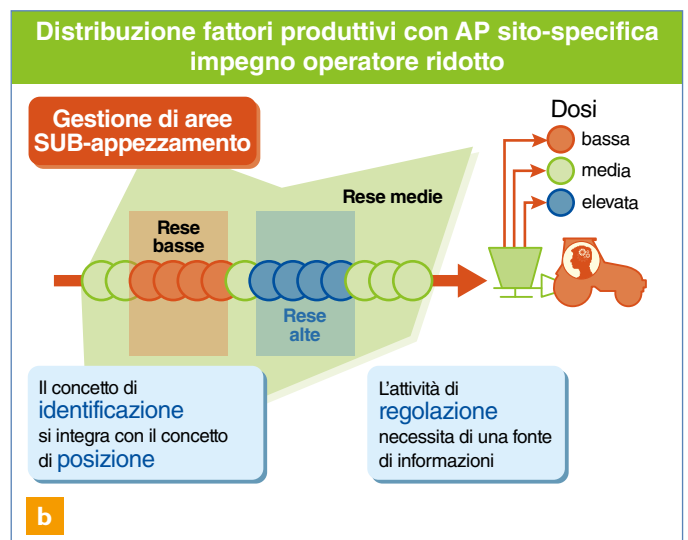
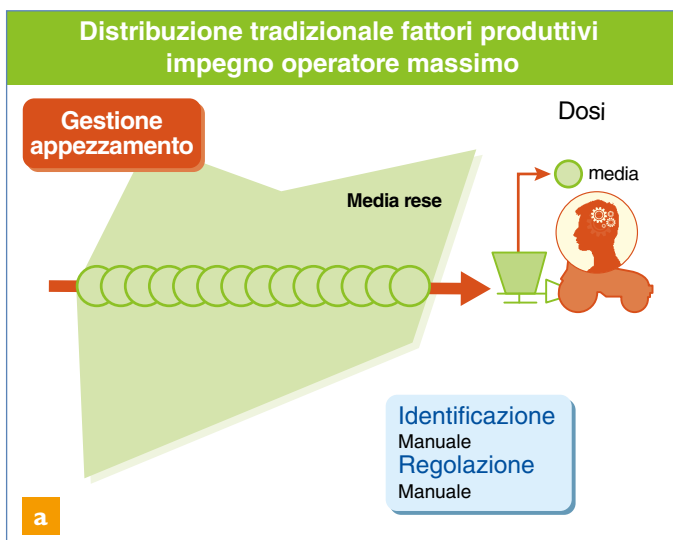


Figura 6.66. Confronto fra gestione della distribuzione dei fattori produttivi effettuata con metodiche convenzionali (a) o sulla base di un approccio sito-specifico (b).

Tutt'altro discorso si ha per le tecniche di distribuzione sito-specifica ad **approccio indiretto**, per le quali la fase di raccolta dati non si verifica simultaneamente alla distribuzione.

In questo caso, focalizzare l'attenzione solamente sull'automazione della fase operativa della lavorazione mette in secondo piano la necessità di un'efficace e preventiva attività di *management* informatizzato, con importanti aspetti di tipo direttivo, eseguiti da personale specializzato.

In definitiva, per realizzare una piena applicazione dell'agricoltura sito-specifica ad approccio indiretto, basata sull'impiego di mappe prescrittive, si deve disporre di:

- un **sistema di base ad alto contenuto di componenti hardware**, in grado di registrare i dati e gestire le fasi di automazione del controllo operativo;
- un **sistema di management informatizzato**, in grado di archiviare i dati storici secondo coerenti forme di aggregazione e di coadiuvare i decisori nelle fasi di analisi, fino a pervenire alla eventuale definizione di piani di intervento automatizzabili attraverso mappe prescrittive.

Una corretta impostazione delle strategie applicative dell'agricoltura di precisione sitospecifica ad approccio indiretto deve prevedere la possibilità di aggiornare automaticamente il sistema informativo aziendale attraverso le tre seguenti fasi.

- **Fase 1. Registrazione dei dati** (monitoraggio delle attività; misura quantitativa di alcuni parametri dell'ambiente produttivo; consumo di fattori; rese produttive).
- **Fase 2. Analisi e pianificazione** (elaborazione e sintesi integrata dei dati previamente raccolti; sviluppo di processi decisionali e gestionali a carico della direzione aziendale).
- **Fase 3. Controllo puntuale delle operazioni di campo** (attività di controllo operativo in cui è possibile esplicitare la precisione contemplata dalle tecniche sito-specifiche).

Non è possibile procedere con la terza fase se prima non si sono impostate e svolte coerentemente le prime due.

Viceversa, è inutile – e costoso – procedere con la prima fase (ad esempio, con la mappatura delle produzioni), se non è prevista la messa in essere delle due fasi successive.

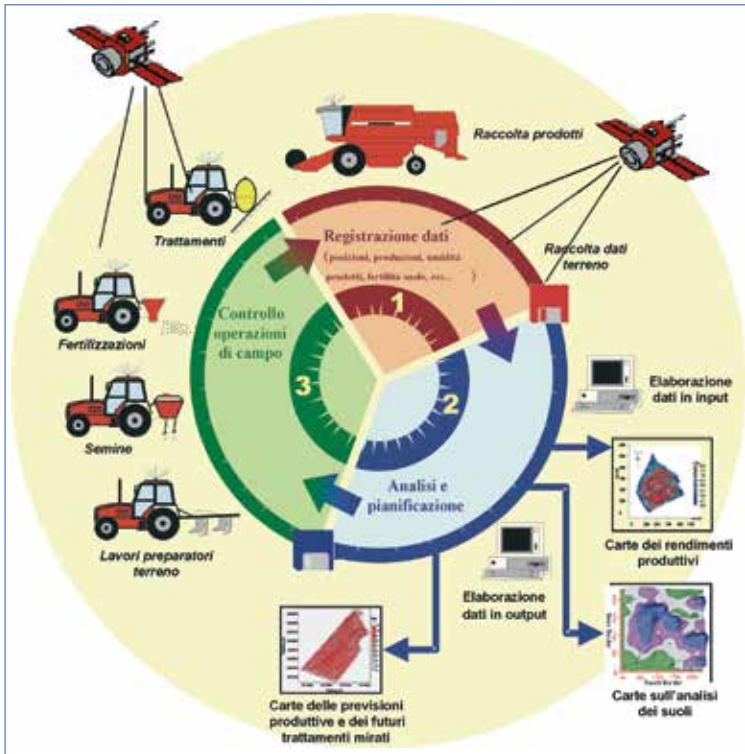


Figura 6.67. Architetture costruttive dei Quaderni di campagna informatici. Differiscono per la possibilità di installare le unità di acquisizione dati (UA) o direttamente sulle operatrici (A: implement oriented) o a bordo dei trattori (B: tractor oriented).

### Tipologie di sistemi per il management informatizzato

Nella Figura 6.69, vengono elencate le informazioni più frequentemente richieste per attuare i controlli di viticoltura di precisione, in una generica azienda vitivinicola, effettuando poi interventi a tecnologia VRT per tenere sotto controllo la variabilità produttiva. In essa sono indicati i dati che è necessario raccogliere per generare le informazioni. Con riferimento alla figura, si noti che le informazioni richieste per prendere le decisioni presuppongono la loro disponibilità in archivi strutturati per vitigno e/o appezzamento:

- l'oggetto ultimo del controllo è sempre una specifica cultivar definita da un insieme di parametri spaziali (sua localizzazione e caratteristiche pedoclimatiche dell'appezzamento) e temporali (stadio fenologico, specifiche delle condizioni agronomiche attuali);
- dette informazioni possono essere proposte in forma numerica (umidità e analisi del terreno, titolo zuccherino delle uve, ecc.), in forma di messaggio (stadio fenologico) o, ancora, in forma mista (lista delle concimazioni o dei trattamenti effettuati nei mesi precedenti, con relative dosi distribuite; tecniche colturali svolte negli anni precedenti, con relativi risultati produttivi, ecc.);

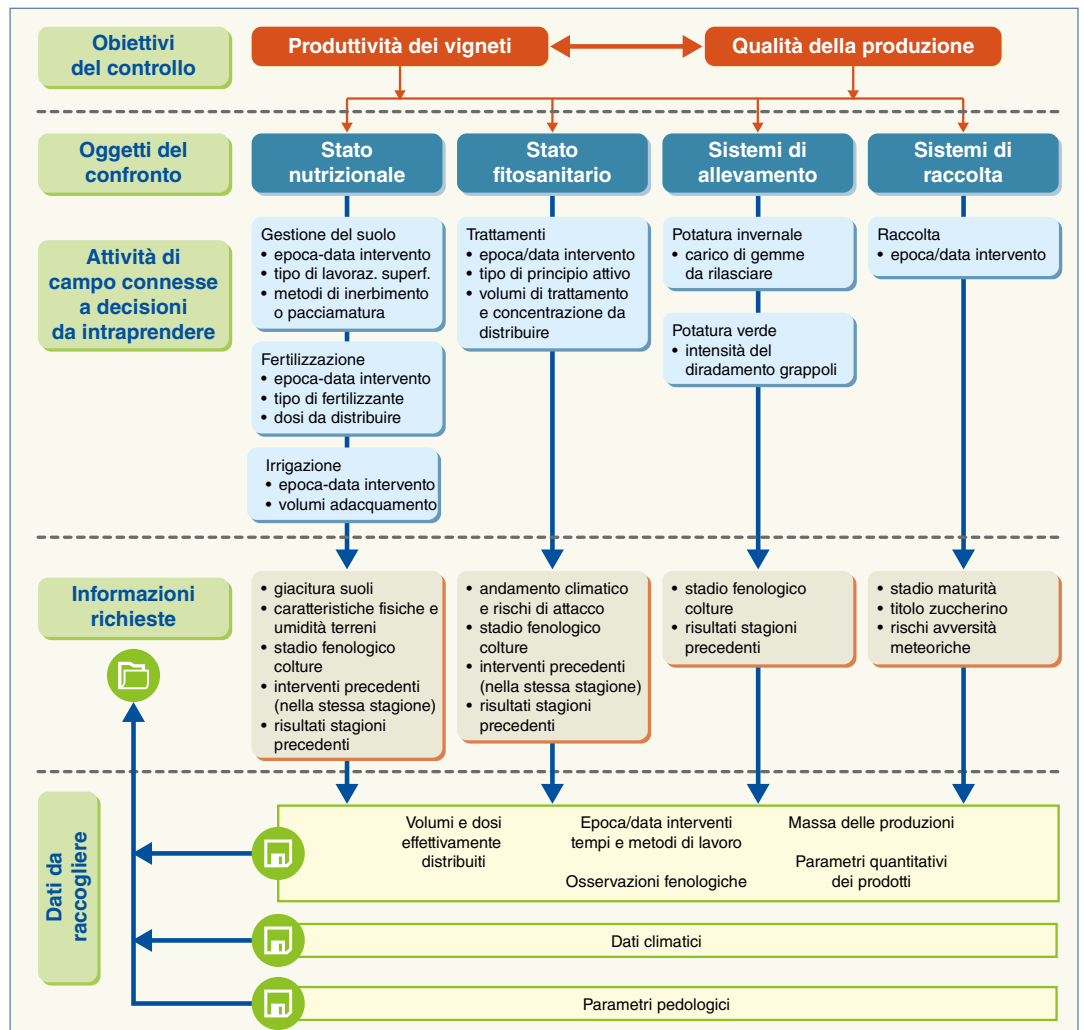


Figura 6.68. Elementi da considerare per impostare un SIA in un'azienda viticola che adotti tecniche VRT.

- la consultazione degli archivi delle informazioni deve permettere elevati livelli di interattività calcolatore-utente; quest'ultimo deve poter interrogare i *database* a suo piacimento, a seconda delle esigenze correnti (organizzazione di *database* relazionali, con la possibilità di interrogazioni *query*, eseguibili senza difficoltà direttamente dall'utente);
- le informazioni richieste originano da dati i cui rilievi presuppongono appositi strumenti di misura (parametri pedoclimatici, volumi e dosi, pesature, ecc.) e osservazioni dirette da parte di un addetto responsabile (tempistica degli interventi, metodi di lavoro, osservazioni fenologiche, ecc.).

I dati da raccogliere per alimentare inizialmente il sistema informativo e mantenerlo nel tempo prevedono diverse frequenze di acquisizione, così come indicato in tabella; gran parte dei dati richiede una sola acquisizione nel momento in cui si installa il sistema informativo, trattando informazioni che per loro natura non sono soggette a modificazioni nel tempo (a parte, ovviamente, i dovuti aggiornamenti che si hanno, ad esempio, quando si modifica la disposizione

degli appezzamenti oppure quando si impiantano nuovi vigneti in sostituzione di altri); altri dati, all'opposto, hanno una frequenza giornaliera e prevedono un monitoraggio continuo dei parametri indagati (dati climatici); le maggiori difficoltà, tuttavia, si incontrano con l'acquisizione di dati a frequenza periodica o stagionale, tipicamente legata ai cicli delle piante coltivate. In tal caso, infatti, il sistema informativo deve garantire l'acquisizione del dato, in modo automatico o manuale, nel momento stesso in cui si verifica l'evento. Ad esempio, nella **Figura 6.69** viene riportata l'immagine relativa alla fase di raccolta dei dati produttivi a bordo della vendemmiatrice.

Durante la raccolta, i dati vengono sottoposti a una prima elaborazione di filtraggio (in genere basata sull'impiego di medie mobili) e sono mostrati sul monitor di bordo, in modo da evidenziare l'avanzamento delle operazioni. Terminato il lavoro, essi vengono trasferiti (*wifi* o tramite supporto di memoria di massa) su un server aziendale, dove subiscono una elaborazione più raffinata.

## FASE 1 - RACCOLTA DATI

INFORMAZIONE O DATO	FREQUENZA ACQUISIZIONE	UTILIZZO E FINALITÀ	OPERAZIONI DA COMPIERE
<b>Mappe topografiche</b>	una volta	posizionamento geografico, inquadramento generale (CTR)	digitalizzazione mappe, importazione su GIS
<b>Definizione confini appezzamenti</b>	una volta	georeferenziazione appezzamenti, misura aree aziendali, <i>database</i> su base appezzamenti	digitalizzazione mappe, misurazioni topografiche dirette (convenzionali o con GPS), importazione su GIS
<b>Profilo altimetrico appezzamenti</b>	una volta	inclinazione appezzamenti, esposizione	misurazioni topografiche dirette (convenzionali o con GPS), importazioni su GIS
<b>Posizionamento filari</b>	una volta	georeferenziazione dei filari all'interno dei singoli appezzamenti (conoscenza sito-specifica delle cultivar coltivate)	misurazioni topografiche dirette (convenzionali o con GPS), importazioni su GIS
<b>Mappa tessitura</b>	una volta	georeferenziazione tessitura suoli all'interno degli appezzamenti	analisi fisiche terreni su campioni, elaborazioni geostatiche dei dati, importazione su GIS
<b>Dati dinamici</b>	giornaliera (monitoraggio continuo)	previsione e pianificazione di interventi colturali	archiviazione e consultazione <i>database</i>
<b>Nutrienti nel suolo</b>	stagionale	georeferenziazione principi nutritivi all'interno degli appezzamenti	analisi chimiche terreni su campioni, elaborazioni geostatiche dei dati, importazione su GIS
<b>Esecuzione operazioni</b>	periodica (monitoraggio continuo)	raccolta e organizzazione delle attività svolte in Quaderni di campagna; analisi di tempi e metodi di lavoro	registrazione dati relativi a operazioni svolte (manuale o automatica), archiviazione e consultazione <i>database</i>
<b>Volumi/dosi fattori produttivi distribuiti</b>	periodica	georeferenziazione delle quantità di fattori produttivi distribuiti all'interno degli appezzamenti, prescrizioni per distribuzioni future	registrazione con elaborazioni geostatiche dei dati, importazione su GIS
<b>Osservazioni fenologiche</b>	periodica	monitoraggio fasi produttive e stadi fitosanitari, adattamento tecniche colturali	<i>scouting</i> con acquisizione osservazioni, importazione su GIS
<b>Remote sensing</b>	una volta o periodica	definizione di aree omogenee rispetto a parametri rilevati, monitoraggio fasi produttive e stadi fitosanitari	digitalizzazione e/o importazioni su GIS, analisi di spettro multibanda
<b>Rese produttive</b>	annuale	stime rese produttive, conoscenza rese reali, efficienza dei fattori impiegati, perdite di raccolto, ricognizione di problemi	misurazione automatica delle rese in continuo con elaborazioni geostatiche dei dati, importazione su GIS

## FASE 2 - ELABORAZIONE DATI E REALIZZAZIONE TEMATISMI

Questa fase di lavoro serve a eliminare alcuni errori imputabili a quanto visto nel paragrafo precedente.

Nonostante la prima elaborazione a bordo della raccogliitrice, potrebbe verificarsi che siano presenti tra i dati grezzi alcuni valori che si dimostrano non coerenti con le aspettative di produzione. Per questa ragione è pratica corrente quella di eliminare, con riferimento alla distribuzione gaussiana dei dati, le code, cioè i valori sotto un certo limite e sopra un certo limite.

Difficile dare delle indicazioni riguardo a tali limiti in quanto è solo prendendo in mano il file dei dati e interpretando una mappa preliminare che ci si può rendere conto di quanto sia necessario intervenire per eliminare evidenti discrepanze.

Infatti capita spesso che, ad esempio:

- **i valori in prossimità delle capezzagne subiscano delle variazioni** legate a pratiche di accelerazione e decelerazione che non sono eliminabili automaticamente;



Figura 6.69. Esempio di prima elaborazione sul monitor della vendemmiatrice dei dati di raccolta.

- **si debbano eliminare i dati** che sono stati raccolti negli angoli acuti degli appezzamenti dove si effettuano numerose manovre;
- **si debba riconsiderare la mappa** in prossimità di ostacoli presenti nei campi (ad esempio i tralici dell'energia elettrica, i pozzi, ecc.).

Gli esempi riportati sono puramente indicativi. Non è possibile elaborare una mappa senza interpretare i dati in funzione delle operazioni effettivamente svolte in campo. Fatto ciò, è necessario scegliere un'adatta palette di colori. Le alternative sono sostanzialmente due:

- suddividere il *range* di valori da rappresentare con una scala che presenti intervalli regolari;
- suddividere i valori a disposizione in gruppi omogenei per numero di rilievi.

Il primo approccio si utilizza quando le produzioni sono poco variabili all'interno dell'appezzamento, il secondo, al contrario, in presenza di variabilità molto elevate. Adesso, la rappresentazione può avvenire come riportato in Figura 6.70:

- **evidenziando sulla mappa i dati grezzi**;
- **elaborando i dati grezzi in una mappa** in cui sono evidenziate le aree a produzione omogenea. Nella maggior parte dei casi, il metodo d'interpolazione impiegato è il Kriging, con un variogramma lineare, in quanto è uno dei metodi più flessibili ed è utile per creare griglie di qualsiasi tipo di insieme di dati. La densità della griglia può essere predefinita o definita automaticamente dal numero dei dati presenti;
- **elaborando i dati grezzi in una mappa** in cui sono evidenziate le aree a produzione omogenea all'interno di una griglia a maglia rettangolare. In genere quest'ultimo tipo di rappresentazione viene ottenuto impostando un lato della griglia con il valore della larghezza del lavoro delle macchine che interverranno nelle successive operazioni. Ciò allo scopo di agevolare la successiva realizzazione di mappe prescrittive da caricare sulle operatrici VRT.

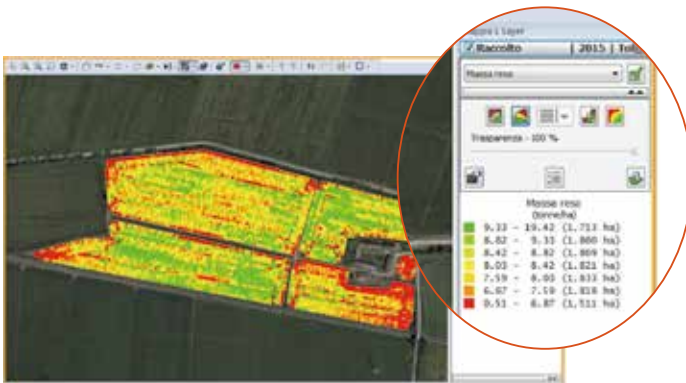
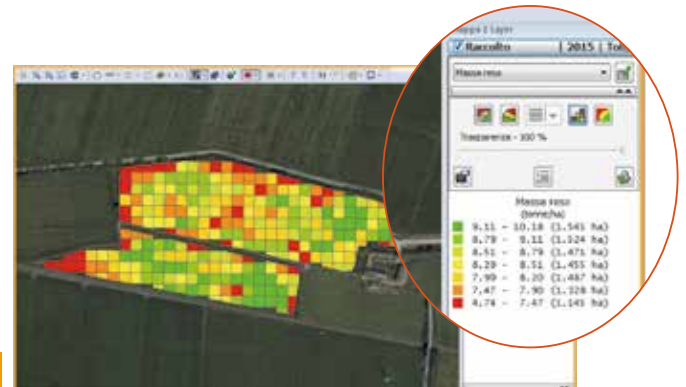
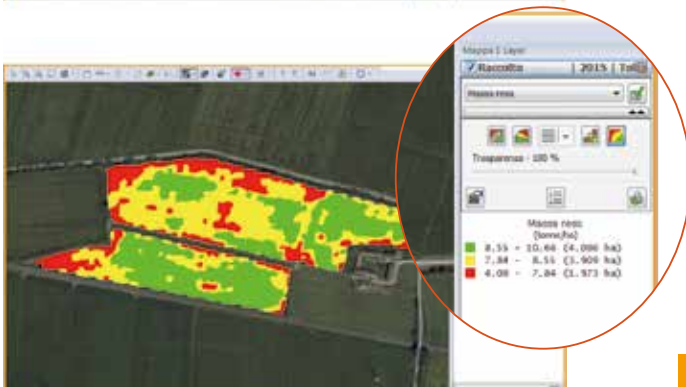


Figura 6.70. Esempio di elaborazione di mappe tematiche di produzione per la gestione sito-specifica. (a) Mappa dati grezzi sensore resa. (b) Mappa aree omogenee produzione. (c) Mappa a griglia per preparare mappa prescrittiva.



### FASE 3 - PREPARAZIONE MAPPE DI PRESCRIZIONE

Una volta elaborati i diversi tematismi di cui alla Figura 6.71, si tratta, in base agli obiettivi impliciti nel controllo, di scegliere quelli che sono coerenti con essi e di analizzarli (cioè sovrapporli con una logica precisa) per ottenere delle mappe di sintesi. Ad esempio, l'obiettivo del controllo, che porta all'analisi della Figura 6.71, è quello di effettuare una raccolta differenziata dell'uva, per una successiva vinificazione separata. I tematismi sono quelli del vigore vegetativo, con i dati raccolti mediante i senso-

ri della qualità dell'uva (tenore in zuccheri e acidità, dati ottenuti attraverso analisi di campioni rappresentativi raccolti nei punti indicati).

A essi potrebbero essere associati anche quelli della produzione di cui si è parlato sopra. Valutando assieme questi tematismi, si può ottenere la mappa di sintesi che, in questo caso, viene anche chiamata **mappa di prescrizione**, perché prescrive che il vigneto debba essere raccolto in modo separato secondo le tre differenti aree identificate con i tre differenti colori.

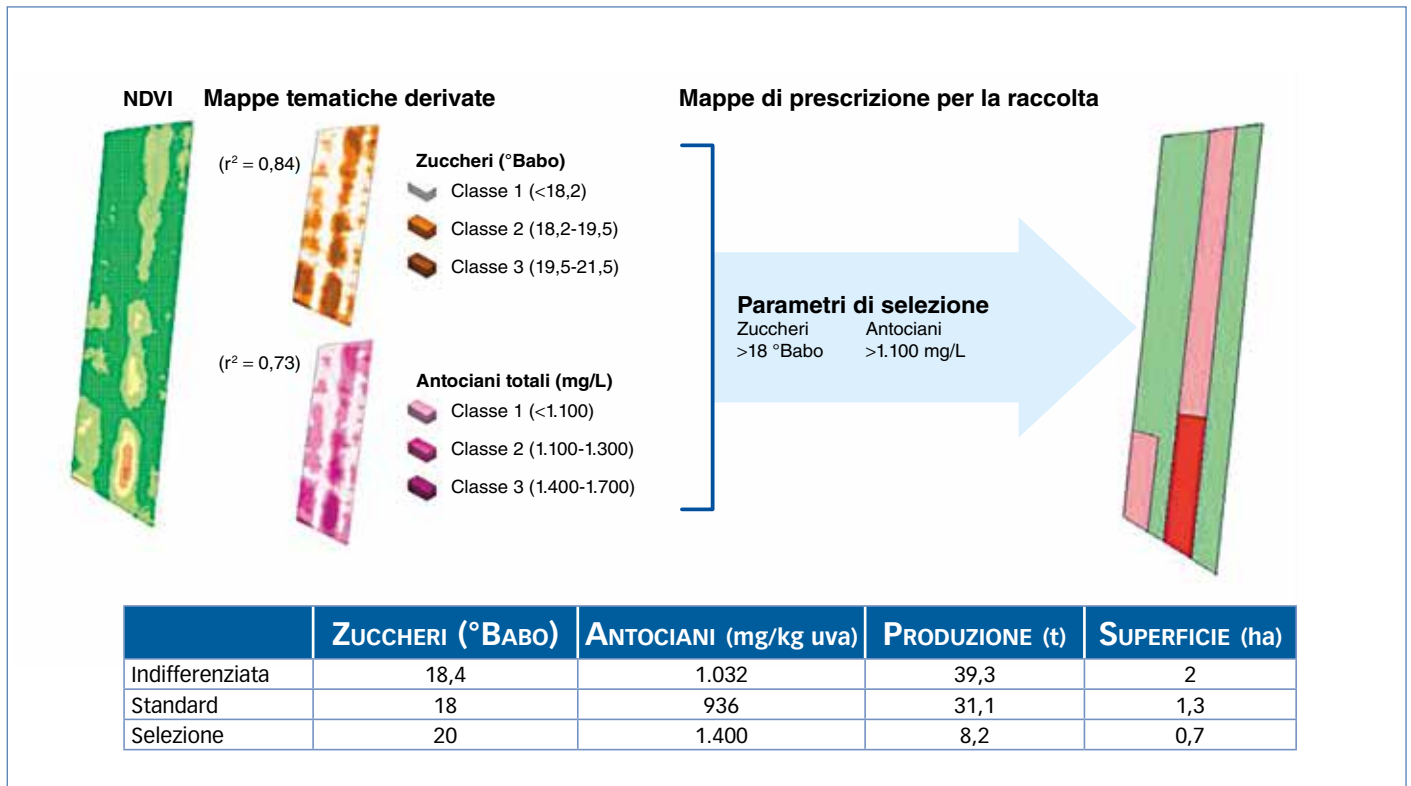


Figura 6.71. Esempio di preparazione di una mappa di prescrizione a partire da mappe tematiche. (Fonte: Brancadoro et al.).



Figura 6.72. (a) Filare di uva di classe-A matura. (b) Filare di uva di classe-B a diversa maturazione. (c) Filare dopo il passaggio della macchina per la raccolta selettiva.

#### FASE 4 • UTILIZZO DELLE MAPPE DI PRESCRIZIONE SULLE MACCHINE VRT

Le mappe di prescrizione prodotte possono essere impiegate su vendemmiatrici a rateo variabile che sono in grado, avendo 2 o più tramogge, di raccogliere in modo separato l'uva nelle diverse aree identificate (Fig. 6.73).

Per far ciò, sono dotate di GNSS e di apposita macchina di calcolo (monitor), in grado di leggere la mappa e, in fun-

zione della posizione, di inviare il prodotto alla tramoggia più appropriata. In molti casi, tuttavia, la raccolta identificata come quella con la qualità dell'uva più elevata viene effettuata manualmente.

Nell'ipotesi migliore, invece di avere un unico vino di qualità mediocre, si vogliono ottenere tre vini diversi da porre sul mercato con differenti fasce di prezzo, a seconda della loro qualità (Fig. 6.74).



Figura 6.73. (a) Particolare del GNSS; (b) visualizzazione della mappa di prescrizione e dell'andamento della raccolta sul monitor di bordo; (c) vista complessiva della vendemmiatrice VRT.

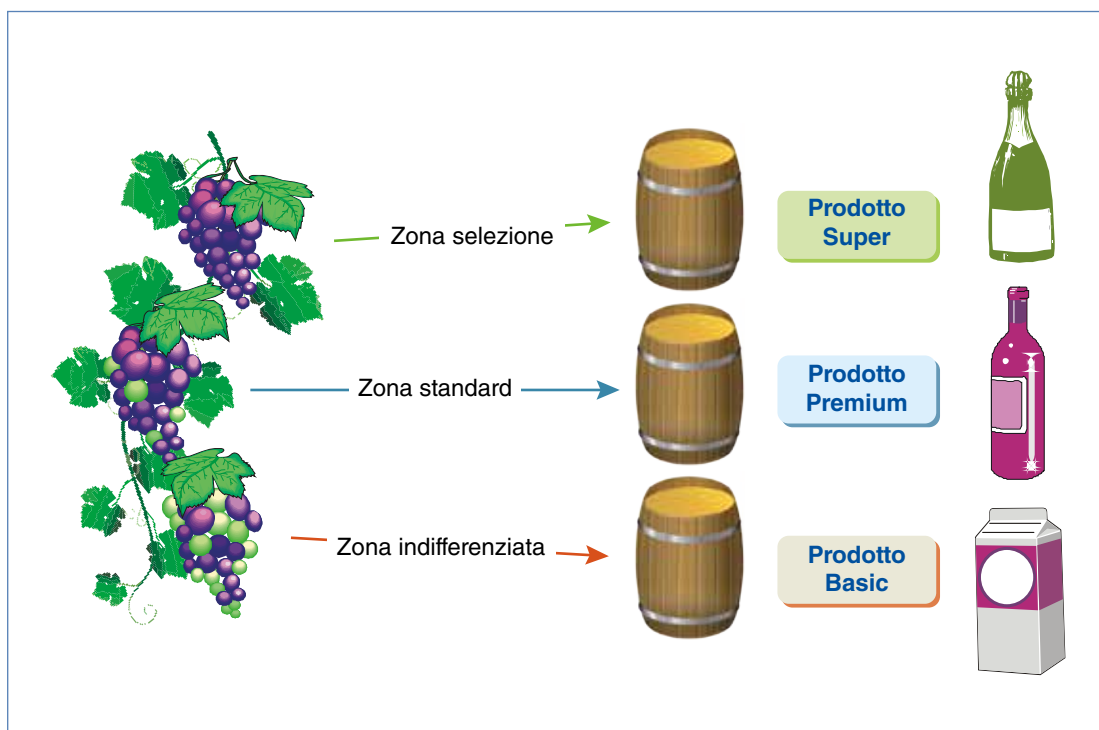


Figura 6.74. Logica sottesa al processo decisionale della viticoltura di precisione a raccolta differenziata sito-specifica.