



MOVENTO
SCUOLA DI MECCANICA

COLLANA MANUALI TECNICI OPERATIVI

Manuale Tecnico Operativo per Macchine Movimento Terra

Architettura, Uso, Manutenzione e Sicurezza Organizzata delle macchine da cantiere: fondamenti tecnici, procedure operative e quadro normativo per operatori, mecatronici e responsabili di cantiere.

Movento — Scuola di Meccanica

Centro di formazione tecnica e professionale
Sardegna · Sicilia

Prima Edizione

Collana Tecnica Professionale n. 01
Ad uso degli operatori e dei tecnici del settore

Informazioni sul volume

TITOLO	Manuale Tecnico Operativo per Macchine Movimento Terra — Architettura, Uso, Manutenzione e Sicurezza Organizzata
A CURA DI	Movento — Scuola di Meccanica, Centro Formativo Tecnico e Professionale
COLLANA	Manuali Tecnici Operativi Movento, n. 01
AMBITO	Formazione tecnica per operatori di macchine movimento terra, mecatronici e responsabili di cantiere
RIFERIMENTI	ISO 6165, ISO 6016, ISO 3471, ISO 3449, ISO 12117, ISO 4406, ISO 22241, ISO 6405, Direttiva Macchine 2006/42/CE, D.Lgs. 17/2010, D.Lgs. 81/2008, Accordo Stato-Regioni 22 febbraio 2012
DESTINATARI	Allievi dei percorsi di abilitazione MMT, operatori in aggiornamento, mecatronici, responsabili HSE e di cantiere
USO CONSENTITO	Materiale didattico ad uso interno dei percorsi formativi Movento. Riproduzione riservata.

Il presente manuale è un documento didattico-tecnico elaborato da Movento — Scuola di Meccanica a supporto dei propri percorsi formativi. I contenuti, pur redatti con la massima cura tecnica e normativa, non sostituiscono i manuali d'uso e manutenzione rilasciati dai singoli costruttori, che restano il riferimento vincolante per ogni specifico modello di macchina. Per il testo integrale del disclaimer legale e formativo si rimanda all'ultima sezione del presente volume.

Sommario

Indice generale del volume

APERTURA

Presentazione dell'Ente e del Manuale	4
---	---

CORPO DEL MANUALE

01 Classificazione e Architettura Meccanica delle MMT	5
02 Impianto Idraulico e Dinamica dei Fluidi Applicata	7
03 Motorizzazione Endotermica e Abbattimento Emissioni	9
04 Elettrificazione, Telematica e Machine Control	11
05 Procedure Operative e Conduzione Efficiente	13
06 Manutenzione Preventiva, Predittiva e Diagnostica	15
07 Tabelle Tecniche di Riferimento	17
08 Sicurezza sul Lavoro, Normativa e Abilitazione Operatori	19

APPENDICI E CHIUSURA

Appendice A — Checklist Operativa Pre-Turno	21
Appendice B — Glossario Tecnico	22
Riferimenti Normativi e Bibliografia	23
Disclaimer Legale e Formativo	24

APERTURA DEL VOLUME

Presentazione dell'Ente e del Manuale

Perché un manuale tecnico integrato sulle macchine movimento terra, e a chi si rivolge.

Movento — Scuola di Meccanica opera nel settore della formazione tecnica e professionale con sedi in Sardegna e Sicilia, affiancando alla didattica d'aula un'officina di riparazione attiva sul campo. Questa doppia natura, formativa e operativa, è il principio ispiratore del presente manuale: ogni contenuto tecnico è stato selezionato e organizzato pensando a chi dovrà applicarlo concretamente in cantiere, non soltanto a chi dovrà superarne un esame.

Il settore della meccanica pesante e dell'ingegneria di cantiere richiede un livello di preparazione scientifica, manuale e normativa estremamente rigoroso. Le macchine movimento terra (di seguito, per brevità, **MMT**) costituiscono l'ossatura portante dell'edilizia moderna, delle opere infrastrutturali, dell'estrazione mineraria e delle bonifiche ambientali. Trattandosi di macchinari complessi, caratterizzati da elevata potenza installata, azionamenti idraulici ad alta pressione e importanti ingombri volumetrici, la loro gestione richiede competenze interdisciplinari che spaziano dalla dinamica dei fluidi alla tribologia, dalla mecatronica diagnostica al rispetto rigoroso dei protocolli di tutela della salute sul lavoro.

Questo manuale integrato, sviluppato per operatori, mecatronici e responsabili di cantiere, analizza in dettaglio l'architettura delle macchine movimento terra, le metodologie di manutenzione preventiva e predittiva, le tecniche di conduzione efficiente e la conformità al quadro normativo vigente. Il testo è organizzato in otto capitoli progressivi — dall'architettura meccanica alla sicurezza organizzata — pensati per essere letti in sequenza da chi si avvicina per la prima volta alla materia, ma anche consultati per singola sezione da chi cerca un riferimento rapido durante l'attività quotidiana.

COME È ORGANIZZATO IL VOLUME

Ogni capitolo si apre con un breve inquadramento del tema e si sviluppa attraverso sezioni tecniche, box di approfondimento normativo o pratico, e — dove utile — tabelle di sintesi per la consultazione rapida. I box a fondo scuro segnalano contenuti relativi alla sicurezza dell'operatore e richiedono un'attenzione particolare.

Le informazioni contenute nel presente manuale hanno finalità didattica e integrano, senza sostituirlo, il manuale d'uso e manutenzione rilasciato dal costruttore per ogni singolo modello di macchina, che rimane sempre il riferimento tecnico vincolante in officina e in cantiere.

CAPITOLO 01

01

Classificazione e Architettura Meccanica delle MMT

Famiglie di macchine, organi di lavoro e criteri costruttivi alla base della progettazione moderna.

La classificazione ufficiale delle macchine movimento terra fa riferimento agli standard internazionali **ISO 6165** e **ISO 6016**, che definiscono rispettivamente la terminologia e la classificazione delle macchine per movimento terra, e i metodi per la determinazione delle masse operative, delle dimensioni e delle prestazioni dichiarate dai costruttori. Le principali famiglie di macchine impiegate nel settore industriale si suddividono in base alla tipologia di telaio, alla modalità di propulsione e alla funzione operativa primaria.

1.1 — Escavatori Idraulici

L'escavatore idraulico rappresenta il macchinario più versatile all'interno dei cantieri civili ed industriali. Costituito da un carro inferiore a cingoli o a ruote, da una torretta girevole a 360 gradi e da un braccio articolato idraulicamente, è progettato per lo scavo, il sollevamento, il livellamento e la demolizione. Il sistema di ralla di rotazione sfrutta un cuscinetto a sfere o a rulli di ampie dimensioni, azionato da un motore idraulico a pistoncini assiali a cilindrata fissa accoppiato a un riduttore epicicloidale.

Il braccio operativo è generalmente composto da tre elementi principali: il braccio base (*boom*), l'avambraccio (*stick* o *dipper*) e la benna (*bucket*). La cinematica dei movimenti è garantita da cilindri idraulici a doppio effetto che lavorano a pressioni di esercizio comprese tra 300 e 380 bar. Nei modelli moderni, la struttura a spessore variabile con profilati scatolati in acciaio ad alto snervamento assicura la necessaria rigidità torsionale contro le sollecitazioni asimmetriche generate dallo scavo laterale.

1.2 — Pale Caricatrici Frontali

La pala caricatrice frontale, articolata su ruote o montata su cingoli, è destinata al caricamento, al trasporto a breve raggio e allo spianamento di materiali sfusi. Nelle versioni gommate, la sterzata avviene tramite un giunto articolato centrale azionato da cilindri idraulici di sterzo, garantendo un raggio di curva ridotto anche in spazi ristretti.

La trasmissione della pala caricatrice gommata sfrutta prevalentemente uno schema idrostatico ad anello chiuso, oppure un cambio di tipo *powershift* abbinato a un convertitore di coppia idrodinamico. La cinematica del braccio di sollevamento può essere di tipo **Z-bar**, ideale per sviluppare elevate forze di strappo al dente della benna, oppure **parallela**, maggiormente indicata per l'impiego con forche di sollevamento e attrezzature porta-pallet.

1.3 — Dozer e Apripista Cingolati

I dozer, o apripista cingolati, sono progettati specificamente per sviluppare elevatissimi valori di sforzo di trazione (*drawbar pull*) per lo spianamento, lo scotico del terreno e il sradicamento di rocce. La sottostruttura di supporto è formata da cingoli ad alta aderenza con catene sigillate e lubrificate ad olio, pattini in acciaio fuso con risalti monostaffa e rulli di scorrimento ad elevata resistenza all'usura.

L'organo lavorante anteriore è la lama (*blade*), che può possedere cinematiche di movimento differenti:

- **Straight blade (S-blade)** — per materiali duri e lavorazioni di precisione.
- **Universal blade (U-blade)** — per lo spostamento di grandi volumi di terra.
- **PAT blade (Power-Angle-Tilt)** — che permette la regolazione idraulica simultanea di altezza, angolazione laterale e inclinazione d'incidenza.

1.4 — Terne e Minipale Compatte

La terna idraulica è una macchina combinata multiuso che integra un telaio con pala caricatrice frontale e un braccio escavatore posteriore ripiegabile con traslazione laterale. Rappresenta una soluzione estremamente versatile per piccoli cantieri urbani e manutenzioni stradali.

La minipala compatta (*skid-steer loader*) adotta un sistema di sterzata per variazione di velocità o inversione del senso di rotazione tra i due lati del cingolo o delle ruote. Priva di fuselli di sterzo tradizionali, la minipala garantisce una manovrabilità eccezionale sul proprio asse centrale, rendendola un elemento chiave nei cantieri ad altissima densità operativa.

NOTA TECNICA — CRITERI DI SCELTA DELLA MACCHINA

La selezione della macchina più adatta a un cantiere non dipende soltanto dalla potenza installata, ma dal bilanciamento tra ingombro operativo, portanza del terreno, raggio di lavoro richiesto e tipologia di materiale da movimentare. Un dimensionamento corretto riduce i tempi di ciclo e i consumi specifici molto più di un semplice incremento di cilindrata.

CAPITOLO 02

02

Impianto Idraulico e Dinamica dei Fluidi Applicata alle MMT

Generazione, regolazione, distribuzione ed attuazione dell'energia oleodinamica.

Il cuore tecnologico di ogni macchina movimento terra risiede nell'impianto oleodinamico ad alta pressione. La conversione dell'energia meccanica fornita dal motore termico in energia idraulica permette di sviluppare forze elevate con un controllo millimetrico dei movimenti. Il circuito oleodinamico si suddivide essenzialmente in componenti di generazione, regolazione, distribuzione ed attuazione.

2.1 — Pompe Idrauliche e Regolazione di Portata

Nelle macchine ad elevate prestazioni si impiegano prevalentemente pompe idrauliche a pistoncini assiali a piastra oscillante e cilindrata variabile. Queste pompe consentono di variare il flusso di olio inviato ai distributori in base alle reali esigenze operative dell'operatore, abbattendo il consumo di carburante e la dissipazione termica.

I sistemi moderni utilizzano prevalentemente due architetture di regolazione:

SISTEMA LOAD SENSING (LS)

Rileva, tramite una linea di segnale, la pressione richiesta dal carico più elevato in un dato momento. La pompa idraulica adatta la propria cilindrata in modo da mantenere una differenza di pressione costante (ΔP) tra l'uscita della pompa e l'ingresso del distributore, garantendo una portata proporzionale alla sola apertura del distributore, indipendentemente dalla variazione del carico.

SISTEMA NEGATIVE FLOW CONTROL (NFC)

Misura il flusso di olio di scarico che attraversa il centro aperto del distributore principale. Quando i manipolatori sono in posizione neutra, la portata a centro aperto è massima e genera un segnale di pressione negativa che comanda al servo-regolatore della pompa di ridurre al minimo la cilindrata (stand-by). Con l'azionamento dei comandi, il passaggio a centro aperto si strozza, la pressione di segnale scende e la pompa aumenta istantaneamente la portata idraulica.

2.2 — Distributori e Valvole di Controllo

Il distributore idraulico principale è composto da blocchi di valvole a spola scanalate di alta precisione, lavorate con tolleranze di accoppiamento centesimali per ridurre i trafilamenti interni. Oltre alle spole di comando dei singoli attuatori, il distributore integra valvole di massima pressione primarie e secondarie (valvole antichoc) tarate per proteggere i cilindri da sovrappressioni generate da urti accidentali dell'attrezzatura.

I circuiti di pilotaggio sfruttano valvole proporzionali elettroidrauliche o servocomandi idraulici a bassa pressione (solitamente compresa tra 30 e 40 bar) azionati dai joystick presenti in cabina. Questa architettura isola l'ambiente di guida dal circuito ad alta pressione e consente una modulazione accurata delle manovre.

2.3 — Attuatori e Fluidi Idraulici

I cilindri idraulici lavorano in condizioni di sollecitazione ciclica gravosa. Sono realizzati con canne in acciaio trafilato rullato internamente e steli in acciaio legato bonificato, cromati a spessore per resistere all'abrasione e alla corrosione da agenti atmosferici. Le tenute dinamiche in poliuretano ad alte prestazioni e gli anelli anti-estrusione in PTFE devono garantire la tenuta stagna fino a pressioni di picco superiori a 400 bar.

L'olio idraulico funge da mezzo di trasmissione dell'energia, lubrificante e fluido di raffreddamento. È fondamentale utilizzare oli ad alto indice di viscosità, appartenenti alle categorie ISO VG 46 o ISO VG 68, con additivi anti-usura (AW), anti-schiuma e anti-ossidazione.

RIFERIMENTO NORMATIVO — PULIZIA DEL FLUIDO

L'inquinamento da particolato solido è la causa principale di guasto precoce dei componenti oleodinamici. L'impianto deve mantenere un livello di pulizia conforme alla norma **ISO 4406**, tipicamente in classe 16/14/11, verificabile tramite analisi periodica del fluido.

CAPITOLO 03

03

Motorizzazione Endotermica e Sistemi di Abbattimento Emissioni Stage V

Iniezione Common Rail e architetture di post-trattamento dei gas di scarico.

Le macchine movimento terra sono equipaggiate con motori a ciclo Diesel sovralimentati mediante turbocompressore a geometria variabile (VGT) e intercooler aria-aria. Questi propulsori sono progettati per erogare elevati valori di coppia motrice a bassi regimi di rotazione, garantendo la prontezza di risposta sotto carico e l'ottimizzazione del rendimento termodinamico.

3.1 — Tecnologia di Iniezione Common Rail

Il sistema di alimentazione del carburante si avvale della tecnologia Common Rail ad alta pressione con elettroiniettori piezoelettrici, capaci di gestire iniezioni multiple per ciclo operativo (pre-iniezione, iniezione principale e post-iniezione). Pressioni di iniezione che superano i 2200 bar consentono un'atomizzazione microscopica del gasolio, riducendo la formazione primaria di incombusti e particolato fuliginoso nelle camere di combustione a geometria emisferica.

3.2 — Integrazione dei Sistemi di Post-Trattamento

Per conformarsi alle severe normative europee sui gas di scarico (Normativa Stage V), i motori industriali installati sulle macchine movimento terra adottano architetture articolate di post-trattamento dei fumi:

RICIRCOLO DEI GAS DI SCARICO (EGR)

Preleva una quota dei gas combusti, li raffredda tramite uno scambiatore di calore dedicato e li reimmette nel condotto di aspirazione, riducendo la temperatura di picco in camera di combustione e limitando la formazione di ossidi di azoto (NOx).

CATALIZZATORE DI OSSIDAZIONE DIESEL (DOC)

Ossida il monossido di carbonio (CO) e gli idrocarburi incombusti (HC), trasformandoli in anidride carbonica e acqua.

FILTRO ANTI-PARTICOLATO DIESEL (DPF)

Trattiene fisicamente le particelle di fuliggine all'interno di una matrice ceramica a nido d'ape in carburo di silicio. La rigenerazione del filtro avviene in modo automatico passivo (ad alta temperatura di esercizio) oppure attivo, iniettando piccole quantità di carburante a valle per innalzare la temperatura dei gas di scarico oltre i 550 °C e bruciare la fuliggine accumulata.

RIDUZIONE CATALITICA SELETTIVA (SCR)

Inietta una soluzione acquosa di urea al 32,5% (commercialmente nota come AdBlue o DEF) nei fumi di scarico. All'interno del catalizzatore SCR, l'urea si decompone in ammoniaca (NH_3) e reagisce chimicamente con gli ossidi di azoto, convertendoli in azoto molecolare (N_2) e vapore acqueo.

ATTENZIONE — QUALITÀ DEI FLUIDI DI ESERCIZIO

La manutenzione del sistema di post-trattamento richiede l'impiego esclusivo di gasolio a bassissimo tenore di zolfo (ULSD) e fluidi AdBlue certificati **ISO 22241**. L'utilizzo di carburanti contaminati porta all'avvelenamento precoce dei catalizzatori e all'ostruzione irreparabile dei condotti del DPF.

CAPITOLO 04

04

Elettrificazione, Telematica e Machine Control

L'evoluzione digitale della macchina da cantiere: dalla propulsione elettrica al controllo guidato dal satellite.

Accanto alla motorizzazione endotermica tradizionale, il settore delle macchine movimento terra sta attraversando una fase di progressiva integrazione tra meccanica, elettronica e software. Questa evoluzione riguarda tre ambiti principali: l'elettrificazione della propulsione, la telematica di flotta e i sistemi di guida assistita del cantiere (machine control).

4.1 — Propulsione Elettrica e Ibrida

Nelle macchine compatte di taglia medio-piccola, in particolare minipale e mini-escavatori destinati a cantieri urbani o ambienti confinati, si affermano configurazioni a batteria agli ioni di litio che alimentano una centralina di potenza e uno o più motori elettrici sincroni a magneti permanenti, incaricati di azionare direttamente la pompa idraulica principale. Il vantaggio operativo risiede nell'assenza di emissioni locali, nella drastica riduzione della rumorosità e nella semplificazione della manutenzione ordinaria, priva degli interventi tipici del motore endotermico (filtri olio, cinghie, sistemi di post-trattamento).

Sulle macchine di taglia superiore trovano invece applicazione soluzioni ibride, nelle quali un generatore accoppiato al motore Diesel ricarica un pacco batterie di supporto, utilizzato per sostenere i picchi di potenza istantanea richiesti durante le fasi di scavo e sollevamento, con benefici in termini di consumo specifico di carburante.

4.2 — Telematica di Flotta e Diagnostica Remota

I moderni sistemi telematici di bordo trasmettono in tempo reale, tramite rete cellulare, i principali parametri operativi della macchina: posizione GPS, ore di funzionamento, consumo di carburante, codici di anomalia (DTC), livello di riempimento del serbatoio AdBlue e stato di intasamento del DPF. Questi dati confluiscono in piattaforme software di gestione flotta che consentono al responsabile di cantiere e al reparto manutenzione di pianificare gli interventi in modo proattivo, riducendo i fermi macchina non programmati.

NOTA TECNICA — GEOFENCING E SICUREZZA PATRIMONIALE

Le piattaforme telematiche integrano funzioni di geofencing (delimitazione geografica virtuale) e blocco motore remoto, utili sia per la prevenzione dei furti sia per impedire l'utilizzo della macchina al di fuori degli orari o delle aree di cantiere autorizzate.

4.3 — Machine Control e Guida Assistita

I sistemi di machine control integrano ricevitori satellitari GNSS (GPS/GLONASS/Galileo) con sensori inerziali installati sull'attrezzatura di scavo, confrontando in tempo reale la posizione della benna o della lama con il modello digitale del progetto (superficie di riferimento tridimensionale). L'operatore visualizza su un display in cabina lo scostamento tra la quota reale e la quota di progetto, mentre nelle configurazioni più avanzate (semi-automatiche) il sistema interviene direttamente sui cilindri idraulici per mantenere automaticamente la quota impostata, lasciando all'operatore il solo controllo dell'avanzamento.

L'adozione di questi sistemi riduce sensibilmente il ricorso ai picchettamenti tradizionali, aumenta la precisione dei livellamenti e limita gli sprechi di materiale dovuti a scavi in eccesso o in difetto rispetto al progetto.

CAPITOLO 05

05

Procedure Operative, Conduzione Efficiente e Cicli di Lavoro

Tecniche di guida che aumentano la produttività e riducono l'usura meccanica.

La produttività di una macchina movimento terra è direttamente correlata alle tecniche operative adottate dal conduttore. Una conduzione corretta non solo aumenta la resa oraria in termini di metri cubi di materiale movimentato, ma riduce drasticamente l'usura meccanica, i consumi specifici di carburante e i tempi morti causati da guasti imprevisti.

5.1 — Pianificazione e Configurazione dell'Area di Scavo

Prima dell'inizio di qualsiasi operazione di scavo, il conducente deve effettuare un sopralluogo visivo e verificare le mappe dei sottoservizi per individuare l'eventuale presenza di condotte del gas, cavi elettrici in tensione, reti fognarie o tubature idriche. Il posizionamento della macchina deve avvenire su un terreno spianato e consolidato, lontano da scarpate prive di sbadacchiatura o da bordi di trincea a rischio di cedimento strutturale.

Quando si opera con un escavatore cingolato, la posizione ideale prevede di orientare la ruota motrice (*sprocket*) nella parte posteriore rispetto alla direzione di scavo. Questa configurazione protegge il riduttore finale da urti frontali contro sassi o detriti e distribuisce lo sforzo di reazione in modo ottimale lungo la catena del cingolo.

5.2 — Ottimizzazione del Ciclo di Scavo e Caricamento

Un ciclo di scavo con escavatore si compone di quattro fasi fondamentali: penetrazione e riempimento della benna, sollevamento e rotazione, scarico sul mezzo di trasporto (*dumper*), e rotazione di ritorno nel punto di scavo. Per massimizzare l'efficienza idraulica e ridurre i tempi di ciclo:

- Il banco di scavo deve essere posizionato preferibilmente a un'altezza pari a quella dell'avambraccio dell'escavatore, riducendo l'escursione dei cilindri idraulici.
- L'angolo di rotazione della torretta tra la superficie di scavo e il cassone del *dumper* non dovrebbe superare i 60-90 gradi. Angoli superiori aumentano esponenzialmente i tempi morti e l'usura della ralla di rotazione.
- La tecnica di scavo corretta prevede l'affondamento dei denti della benna sfruttando la forza del cilindro penetratore (avambraccio) abbinata alla chiusura graduale della benna, mantenendo il braccio base in posizione pressoché fissa per evitare inutili dispersioni di potenza idraulica.

5.3 — Uso Corretto della Pala Caricatrice e Manovra in V

Per le pale caricatrici su ruote, la modalità più efficiente di caricamento del materiale da cumulo è la cosiddetta manovra in V. La pala approccia il cumulo perpendicolarmente, a bassa velocità e ad alto valore di coppia,

inserendo la benna alla base del materiale. Contestualmente alla spinta di avanzamento, l'operatore aziona il brandeggio all'indietro della benna (*curl*) per riempirla completamente sfruttando la forza di strappo, evitando lo slittamento dei pneumatici.

Una volta riempita la benna, la pala retrocede curvando di circa 45 gradi rispetto al cumulo, per poi avanzare verso il dumper posizionato a circa 45 gradi sul lato opposto, tracciando una traiettoria a forma di V. Questo metodo riduce la distanza complessiva percorsa, minimizza l'usura dei pneumatici e riduce le sollecitazioni al differenziale e agli assi della macchina.

NOTA TECNICA — INDICATORI DI CONDUZIONE EFFICIENTE

Un operatore esperto si riconosce dalla fluidità dei movimenti combinati (rotazione della torretta mentre il braccio è ancora in sollevamento) più che dalla velocità dei singoli movimenti isolati: è la sovrapposizione efficiente delle fasi, non la rapidità del singolo gesto, a determinare la produttività oraria.

CAPITOLO 06

06

Protocolli di Manutenzione Preventiva, Predittiva e Diagnostica

Dai controlli giornalieri all'analisi tribologica dei fluidi.

La manutenzione delle macchine movimento terra deve seguire protocolli rigorosi per prevenire guasti catastrofici e prolungare la vita utile dei componenti meccanici ed idraulici. Gli interventi si articolano su tre livelli strategici: manutenzione giornaliera, manutenzione programmata a intervalli orari e diagnostica predittiva.

6.1 — Controlli di Routine e Ispezioni Giornaliere

Prima dell'avviamento del motore all'inizio del turno di lavoro, l'operatore o il manutentore deve eseguire una serie di controlli visivi e funzionali:

- Verifica del livello dell'olio motore, del liquido di raffreddamento e dell'olio idraulico tramite le spie o le aste di livello dedicate.
- Ispezione del pre-filtro aria del motore ed eventuale scarico della polvere accumulata nella valvola di evacuazione in gomma.
- Controllo di eventuali perdite di fluido idraulico da raccordi, tubi flessibili (*hoses*) e guarnizioni degli steli dei cilindri. I tubi idraulici che presentano abrasioni della calza esterna, deformazioni o rigonfiamenti devono essere sostituiti immediatamente.
- Verifica dello stato di usura dei denti della benna, delle lame di usura e delle spine di bloccaggio. Operare con denti usurati riduce l'efficienza di penetrazione e trasferisce sollecitazioni anomale alla struttura della benna.
- Grassaggio dei perni e delle boccole dell'attrezzatura frontale mediante ingrassatore manuale, o verifica del corretto funzionamento dell'impianto di ingrassaggio centralizzato con grasso al bisolfuro di molibdeno (EP2).

6.2 — Programma di Manutenzione Scalare ad Intervalli Orari

I costruttori di macchine movimento terra definiscono i piani di manutenzione in base alle ore di funzionamento effettive registrate dal contatore di bordo. I principali scadenziari standard prevedono:

Ogni 250-500 ore — Sostituzione dell'olio motore e dei relativi filtri olio e carburante. Pre-filtraggio e drenaggio dell'acqua separata dal circuito del gasolio. Controllo della tensione delle cinghie dei servizi e della carica delle batterie di avviamento.

Ogni 1000 ore — Sostituzione dei filtri dell'olio idraulico (filtro sul ritorno e filtro sulla linea di pilotaggio). Sostituzione dell'olio dei riduttori di traslazione e del riduttore di rotazione della torretta. Regolazione del gioco valvole del motore endotermico, se non dotato di punterie idrauliche.

Ogni 2000 ore — Sostituzione completa del fluido idraulico dell'impianto. Sostituzione del liquido di raffreddamento a lunga durata (LLC). Ispezione e pulizia approfondita del serbatoio del carburante per eliminare morchie, condensa o colonie batteriche.

6.3 — Diagnostica Meccatronica ed Analisi Predittiva

Le moderne macchine movimento terra sono dotate di centraline elettroniche di controllo (ECU) collegate tramite rete bus CAN-bus (standard SAE J1939). La diagnosi si effettua collegando uno strumento software dedicato alla presa di diagnosi di bordo, per la lettura dei codici errore registrati (DTC — Diagnostic Trouble Codes) e la verifica dei parametri in tempo reale: pressione di rail, pressione idraulica principale, temperature d'esercizio, percentuale di intasamento del DPF.

La manutenzione predittiva sfrutta inoltre l'analisi tribologica dei fluidi. Prelevando periodicamente campioni di olio idraulico e olio motore da inviare in laboratorio, è possibile analizzare la presenza di metalli da usura, espressi in parti per milione (PPM):

- **Rame e bronzo** — indicano usura delle piastre dei pistoni della pompa idraulica o delle bronzine di banco.
- **Ferro e cromo** — indicano degrado delle canne cilindro, delle fasce elastiche del motore o dei rulli dei cuscinetti.
- **Silicio** — segnala un filtraggio improprio dell'aria di aspirazione, con ingresso di polvere abrasiva dall'esterno.

NOTA TECNICA — LOGICA DELLA MANUTENZIONE PREDITTIVA

A differenza della manutenzione preventiva, basata su intervalli fissi, la manutenzione predittiva confronta l'andamento nel tempo dei parametri diagnostici e delle analisi degli oli, intervenendo quando i trend indicano un reale avvicinamento al limite di degrado, ottimizzando così sia i costi sia l'affidabilità della macchina.

CAPITOLO 07

07

Tabelle Tecniche di Riferimento

Strumenti di consultazione rapida per la diagnosi e la programmazione degli interventi.

Di seguito si riportano le tabelle tecniche sintetiche utili per la diagnosi rapida delle anomalie più frequenti dell'impianto idraulico e per la programmazione degli interventi di manutenzione sulle macchine da cantiere. Le tabelle sono pensate per un utilizzo diretto in officina o a bordo macchina.

TABELLA 1 — DIAGNOSTICA ANOMALIE IMPIANTO IDRAULICO MMT

SINTOMO RILEVATO	CAUSA PROBABILE	AZIONE CORRETTIVA / VERIFICHE TECNICHE
Movimenti idraulici lenti su tutti gli attuatori	Pressione di pilotaggio insufficiente; pompa idraulica usurata; basso livello olio	Verificare la pressione della linea di pilotaggio (circa 35 bar); misurare portata e pressione della pompa principale; ripristinare il livello idraulico
Surriscaldamento eccessivo dell'olio idraulico (>85 °C)	Scambiatore di calore ostruito; valvola di massima pressione bloccata aperta; olio degradato	Pulire il pacco radiatori; verificare la taratura delle valvole di sovrappressione; eseguire analisi chimica e sostituzione dell'olio
Rumorosità elevata o cavitazione della pompa	Ingresso aria nella linea di aspirazione; filtro di aspirazione intasato; olio con viscosità errata	Serrare i raccordi della linea di aspirazione; sostituire i filtri idraulici; verificare la viscosità ISO VG del fluido
Deriva o cedimento di un cilindro sotto carico	Tenute interne del pistone usurate; valvola antichoc del distributore danneggiata	Sostituire le guarnizioni interne del cilindro idraulico; smontare, revisionare e ritarare la valvola di blocco

TABELLA 2 — INTERVALLI DI MANUTENZIONE PREVENTIVA STANDARD

COMPONENTE / SISTEMA	OPERAZIONE RICHIESTA	INTERVALLO ORARIO CONSIGLIATO
Perni e boccole del cinematismo frontale	Ingrassaggio ad alta pressione con grasso EP2	Ogni 10-50 ore (o giornaliero)
Olio motore Diesel e filtro olio	Sostituzione olio lubrificante e cartuccia filtro	Ogni 250-500 ore
Filtri carburante e separatore condensa	Sostituzione cartucce filtranti e drenaggio acqua	Ogni 500 ore
Filtri olio idraulico (ritorno / pilota)	Sostituzione elementi filtranti ad alta efficienza	Ogni 1000 ore
Olio riduttori di traslazione e rotazione	Sostituzione olio ingranaggi di tipo EP (GL-5)	Ogni 1000 ore
Olio impianto idraulico generale	Sostituzione integrale del fluido e pulizia serbatoio	Ogni 2000-4000 ore

TABELLA 3 — CLASSI DI VISCOSITÀ E AMBITO DI IMPIEGO CONSIGLIATO

FLUIDO	CLASSE DI RIFERIMENTO	AMBITO DI IMPIEGO TIPICO
Olio idraulico	ISO VG 46 / ISO VG 68	Climi temperati / climi caldi o impianti ad alta temperatura di esercizio
Olio riduttori	EP (GL-5)	Riduttori epicicloidali di traslazione e rotazione
Grasso multiuso	EP2 al bisolfuro di molibdeno	Perni, boccole e snodi dell'attrezzatura frontale
Liquido di raffreddamento	LLC (Long Life Coolant)	Circuito di raffreddamento del motore endotermico

CAPITOLO 08

08

Sicurezza sul Lavoro, Normativa di Riferimento e Abilitazione Operatori

Il quadro normativo, i dispositivi di protezione strutturale e il percorso di abilitazione degli operatori.

L'impiego delle macchine movimento terra comporta rischi specifici elevati per la salute e l'incolumità degli operatori e del personale di cantiere. Gli incidenti correlati all'uso delle MMT sono prevalentemente riconducibili a ribaltamento del mezzo, investimento di persone a terra, schiacciamento durante le fasi di manovra e contatto accidentale con linee elettriche aeree o sotterranee.

8.1 — Quadro Normativo Italiano ed Europeo

La conformità tecnica e operativa delle macchine movimento terra è regolata a livello europeo dalla Direttiva Macchine 2006/42/CE, recepita in Italia dal D.Lgs. 17/2010, e a livello nazionale dal Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro (D.Lgs. 81/2008), in particolare dai Titoli III (Uso delle attrezzature di lavoro) e IV (Cantieri temporanei o mobili).

Le macchine immesse sul mercato devono esibire la marcatura CE, essere accompagnate dalla Dichiarazione di Conformità e dal relativo Manuale di Uso e Manutenzione, redatto nella lingua del paese di utilizzo.

8.2 — Dispositivi di Protezione Strutturale (ROPS, FOPS, TOPS)

Le cabine delle macchine movimento terra devono garantire requisiti di sicurezza passiva certificati secondo rigidi standard internazionali:

- **ROPS (Roll-Over Protective Structure — ISO 3471)** — struttura di protezione progettata per assorbire l'energia d'impatto in caso di ribaltamento della macchina, evitando lo schiacciamento dello spazio di sopravvivenza destinato all'operatore. È obbligatorio l'uso contestuale della cintura di sicurezza allacciata.
- **FOPS (Falling Object Protective Structure — ISO 3449)** — griglia o tetto di protezione progettato per resistere alla caduta dall'alto di oggetti, roccia o detriti pesanti.
- **TOPS (Tip-Over Protective Structure — ISO 12117)** — protezione specifica installata sui mini-escavatori contro il rischio di rovesciamento laterale.

SICUREZZA — CINTURA E STRUTTURA DI PROTEZIONE

Una struttura ROPS certificata protegge l'operatore solo se la cintura di sicurezza è correttamente allacciata durante l'intera fase operativa. Le due misure sono complementari e nessuna delle due, da sola, garantisce una protezione adeguata in caso di ribaltamento.

8.3 — Abilitazione degli Operatori e Percorso Formativo

Ai sensi dell'articolo 73 del D.Lgs. 81/2008 e in attuazione dell'Accordo Stato-Regioni del 22 febbraio 2012, la conduzione di escavatori idraulici, pale caricatrici frontali, terne e autoribaltabili a cingoli è riservata esclusivamente agli operatori in possesso di una specifica abilitazione teorico-pratica, comunemente denominata *patentino MMT*.

Il percorso formativo accreditato comprende:

- Un modulo giuridico-normativo, per l'apprendimento della legislazione sulla sicurezza in cantiere e dei principi di ergonomia.
- Un modulo tecnico, per la comprensione del funzionamento dei componenti meccanici, idraulici ed elettrici, con particolare attenzione alle verifiche di sicurezza pre-turno.
- Un modulo pratico, condotto in un'area addestrativa dedicata, volto al perfezionamento delle manovre di scavo, livellamento, sollevamento carichi e messa in sicurezza della macchina a fine lavoro.

L'abilitazione ha validità quinquennale e richiede il superamento di un corso di aggiornamento periodico, della durata minima prevista dalla normativa, per il mantenimento della qualifica operativa.

8.4 — Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) e Regole di Cantiere

L'operatore di macchine movimento terra deve indossare obbligatoriamente i Dispositivi di Protezione Individuale stabiliti dalla valutazione dei rischi di cantiere (POS e PSC):

- Calzature di sicurezza con puntale in acciaio o materiale composito e lamina anti-perforazione (classe S3).
- Elmetto protettivo (casco da cantiere) conforme alla norma EN 397.
- Cuffie o inserti auricolari anti-rumore (EN 352), per l'abbattimento dell'esposizione al livello di pressione sonora equivalente.
- Indumenti ad alta visibilità (EN ISO 20471) di classe 2 o classe 3, per rendere l'operatore visibile anche in condizioni di scarsa illuminazione o durante il lavoro notturno.
- Guanti di protezione contro i rischi meccanici (EN 388), per le operazioni di manutenzione, pulizia e ingrassaggio.

Durante le fasi di manovra in spazi ristretti o a visibilità ridotta, la macchina deve essere equipaggiata con telecamere panoramiche a 360 gradi, sensori radar di prossimità ad ultrasuoni e segnalatori acustici e luminosi di retromarcia perfettamente funzionanti. In assenza di visibilità diretta, l'operatore deve avvalersi tassativamente della guida di un addetto a terra esperto (segnalatore di manovra), con comunicazioni radio o segnali gestuali codificati secondo la norma ISO 6405.

APPENDICE A

Checklist Operativa Pre-Turno

Sintesi consultabile dei controlli da svolgere prima dell'avviamento della macchina, ad integrazione del Capitolo 6.

A.1 — Controlli a macchina spenta

- ☐ Livello olio motore, liquido di raffreddamento e olio idraulico entro il range indicato
- ☐ Assenza di perdite visibili di olio, gasolio o AdBlue sotto la macchina
- ☐ Stato dei tubi flessibili idraulici: nessuna abrasione, rigonfiamento o deformazione
- ☐ Stato di usura di denti benna, lame e spine di bloccaggio dell'attrezzatura
- ☐ Pressione e condizioni di cingoli o pneumatici
- ☐ Pulizia del pre-filtro aria e della griglia del radiatore
- ☐ Funzionamento di specchietti, telecamere e sensori di prossimità
- ☐ Integrità della struttura ROPS/FOPS e corretto allacciamento della cintura di sicurezza

A.2 — Controlli a macchina accesa

- ☐ Assenza di spie di allarme attive sul cruscotto / display multifunzione
- ☐ Funzionamento dei comandi idraulici in condizioni di sicurezza (area libera)
- ☐ Efficienza dell'impianto frenante e del freno di stazionamento
- ☐ Funzionamento del segnalatore acustico e delle luci di lavoro e di retromarcia
- ☐ Verifica sonora e visiva dell'assenza di rumori anomali durante il minimo

NOTA D'USO

Questa checklist è una sintesi didattica e non sostituisce la scheda di controllo pre-turno specifica prevista dal costruttore della macchina o dal sistema di gestione sicurezza del cantiere, alla quale l'operatore deve sempre attenersi.

APPENDICE B

Glossario Tecnico

Terminologia di riferimento utilizzata nel presente manuale.

Boom / Stick / Bucket

Rispettivamente braccio base, avambraccio e benna: i tre elementi principali dell'attrezzatura frontale di un escavatore idraulico.

Delta P

Differenza di pressione mantenuta costante tra l'uscita della pompa e l'ingresso del distributore in un sistema Load Sensing.

Drawbar pull

Sforzo di trazione sviluppato al gancio o alla lama di un dozer, indicatore della capacità di spinta della macchina.

DTC (Diagnostic Trouble Code)

Codice di anomalia registrato dalla centralina elettronica e leggibile tramite strumento diagnostico.

Load Sensing (LS)

Architettura idraulica che adatta la cilindrata della pompa alla pressione richiesta dal carico più gravoso in un dato istante.

Negative Flow Control (NFC)

Architettura idraulica che regola la portata della pompa in base al segnale di pressione negativa generato dal centro aperto del distributore.

PPM (parti per milione)

Unità di misura utilizzata nell'analisi tribologica degli oli per esprimere la concentrazione di particelle metalliche da usura.

ROPS / FOPS / TOPS

Strutture di protezione certificate rispettivamente contro il ribaltamento, la caduta di oggetti dall'alto e il rovesciamento laterale (quest'ultima sui mini-escavatori).

Stage V

Normativa europea vigente sulle emissioni inquinanti dei motori non stradali (macchine movimento terra, agricole, industriali).

VGT (turbocompressore a geometria variabile)

Turbocompressore in cui la geometria delle palette statoriche viene regolata dinamicamente per ottimizzare la sovralimentazione ai diversi regimi motore.

RIFERIMENTI

Riferimenti Normativi e Bibliografia Essenziale

Quadro delle principali norme tecniche e disposizioni legislative richiamate nel volume.

Norme tecniche internazionali

- ISO 6165 — Macchine movimento terra, terminologia e classificazione
- ISO 6016 — Macchine movimento terra, metodi per la determinazione delle masse
- ISO 3471 — Strutture di protezione in caso di ribaltamento (ROPS)
- ISO 3449 — Strutture di protezione contro la caduta di oggetti (FOPS)
- ISO 12117 — Strutture di protezione contro il rovesciamento laterale (TOPS)
- ISO 4406 — Classificazione della contaminazione dei fluidi idraulici
- ISO 22241 — Specifica del fluido AdBlue / DEF per sistemi SCR
- ISO 6405 — Simboli per i comandi degli operatori e altri indicatori

Normativa nazionale ed europea

- Direttiva Macchine 2006/42/CE
- D.Lgs. 17/2010 — Attuazione della Direttiva Macchine 2006/42/CE
- D.Lgs. 81/2008 — Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro, Titoli III e IV, articolo 73
- Accordo Stato-Regioni del 22 febbraio 2012 — Abilitazione alla conduzione di attrezzature di lavoro

CHIUSURA DEL VOLUME

Disclaimer Legale e Formativo

Questo manuale tecnico è fornito a puro scopo formativo, didattico ed informativo. Le procedure, le specifiche meccaniche, i dati sulle pressioni idrauliche e le indicazioni normative riportate nel presente testo riflettono le tecnologie industriali e le leggi vigenti al momento della stesura.

L'esecuzione degli interventi di riparazione, manutenzione o conduzione di macchinari movimento terra deve essere effettuata esclusivamente da personale qualificato, formato ed abilitato ai sensi della legislazione vigente.

LIMITAZIONE DI RESPONSABILITÀ

L'autore, Movento — Scuola di Meccanica, declina ogni responsabilità per eventuali danni a cose, persone o macchinari derivanti da un'interpretazione errata, da un uso improprio o dall'applicazione non autorizzata delle informazioni contenute nel presente documento, senza il preventivo affiancamento di un tecnico certificato.

© Movento — Scuola di Meccanica. Materiale didattico ad uso dei percorsi formativi dell'ente. Riproduzione riservata.



MOVENTO

SCUOLA DI MECCANICA

Centro Formativo Tecnico e Professionale — Sardegna · Sicilia
Collana Manuali Tecnici Operativi, n. 01