

DIME.DE.

Uno strumento software per l'ottimizzazione del deposito nazionale dei rifiuti radioattivi a bassa e media attività.

P. Risoluti^(**), M. Rossi^(**), C. Di Geremia^(*), P. Fargione^(*)

(*) Università di Roma "La Sapienza" – Dipartimento di Ingegneria Nucleare e Conversioni di Energia

(**) ENEA - TASK FORCE PER IL SITO NAZIONALE DI DEPOSITO DEI MATERIALI RADIOATTIVI

1 INTRODUZIONE

Sebbene l'Italia abbia rinunciato, da oltre un decennio, all'utilizzo dell'energia nucleare per produrre energia elettrica, resta ancora oggi da risolvere il problema della gestione dei rifiuti radioattivi prodotti non solo dalle pregresse attività energetiche ma anche dalle attività di smantellamento delle centrali e dalle attività industriali e medico-ospedaliere che, a tutt'oggi, continuano a produrre rifiuti radiotossici. I rifiuti radioattivi prodotti nell'ambito delle attività nucleari energetiche sono attualmente, per la maggior parte, immagazzinati e custoditi presso gli stessi siti in cui sono stati prodotti (Centrali Nucleari, Centri di Ricerca o Impianti Sperimentali). Gli altri rifiuti radioattivi, essenzialmente di provenienza medico-ospedaliera, industriale e di attività di ricerca sono ospitati presso il centro ENEA della Casaccia, nell'area gestita dalla NUCLECO. La normativa tecnica vigente (Guida Tecnica n. 26 ENEA-DISP) suddivide i rifiuti radioattivi in tre categorie, sulla base delle caratteristiche dei radionuclidi in essi contenuti e sulla base della concentrazione di attività. I rifiuti di I Categoria, visto il trascurabile impatto radiologico, possono essere trattati come normali rifiuti industriali e quindi smaltiti attraverso i numerosi processi industriali disponibili. Per i rifiuti di II Categoria il deposito definitivo è previsto in speciali strutture artificiali atte ad assicurare il confinamento della radioattività, localizzate in un sito con caratteristiche naturali ed antropiche adeguate e custodite per un periodo dell'ordine di qualche secolo; dopo questo periodo essi potranno essere considerati come rifiuti di I Categoria e quindi smaltiti in maniera convenzionale. Per i rifiuti di III Categoria e per il combustibile irraggiato (riprocessato e non) lo smaltimento è previsto in speciali formazioni geologiche profonde, in grado di garantirne l'isolamento dalla biosfera per periodi molti lunghi (decine di migliaia di anni ed oltre). Il reperimento e la qualificazione di un sito con tali caratteristiche richiede, oltre ad investimenti ingenti, studi e valutazioni di notevole impegno sotto il profilo delle risorse. Attualmente, anche paesi con massicce produzioni di tali rifiuti (Francia, Regno Unito, Stati Uniti), sono lontani dall'individuazione univoca di un siffatto sito, risultando, nei casi più avanzati, ancora nella fase di costruzione di laboratori o impianti sperimentali. I quantitativi di rifiuti di III Categoria e di combustibile irraggiato presenti in Italia sono modesti, tali da non giustificare la necessità di un sito di smaltimento geologico. Non è stata, ancora, presa una decisione in merito allo smaltimento definitivo di tali rifiuti; la soluzione di medio-lungo termine attualmente allo studio è lo stoccaggio temporaneo in strutture ingegneristiche di superficie. Per individuare e qualificare un sito idoneo ad ospitare il deposito definitivo dei rifiuti di II categoria e lo stoccaggio temporaneo dei rifiuti di III categoria e del combustibile irraggiato, l'ENEA ha costituito una "Task Force per il sito nazionale di deposito dei materiali radioattivi". In questo ambito la Task Force e il Dipartimento di Ingegneria Nucleare e Conversioni di Energia dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" hanno collaborato su diverse attività, fra le quali quella definita di "Informatizzazione del Progetto del Deposito Nazionale". All'interno del supporto informatico sviluppato, e con specifico riferimento ai rifiuti a Media e Bassa attività, una attenzione particolare è stata dedicata ad un aspetto particolarmente rilevante sotto il profilo ingegneristico: l'ottimizzazione delle dimensioni dei manufatti da mettere a dimora.

2 DIME.DE. - DESCRIZIONE GENERALE

La tecnica di deposito seguita da Dime.De. è di tipo modulare ed è stata definita dall'ENEA Task Force Per il Sito Nazionale dei Materiali Radioattivi. Tale tecnica prevede la sistemazione dei manufatti finali condizionati all'interno di speciali contenitori di calcestruzzo armato di forma parallelepipedica (*moduli*), all'interno dei quali, una volta terminato il posizionamento dei manufatti, è colata della malta cementizia di immobilizzo. I moduli vengono al loro volta disposti su più strati all'interno di strutture in cemento armato di forma parallelepipedica (*celle di deposito*). Le celle sono chiuse, sigillate ed impermeabilizzate. L'insieme di più celle allineate longitudinalmente costituisce un *Unità di deposito*. Il deposito finale è costituito da più unità di deposito.

In generale, Dime.De. calcola e ottimizza: le dimensioni dei moduli di stoccaggio; il numero totale dei moduli; le dimensioni della cella di deposito; il numero totale delle celle di deposito; il numero di unità di deposito; l'estensione del deposito definitivo. Il funzionamento del programma può essere sintetizzato nel diagramma a blocchi rappresentato nella Fig.1.

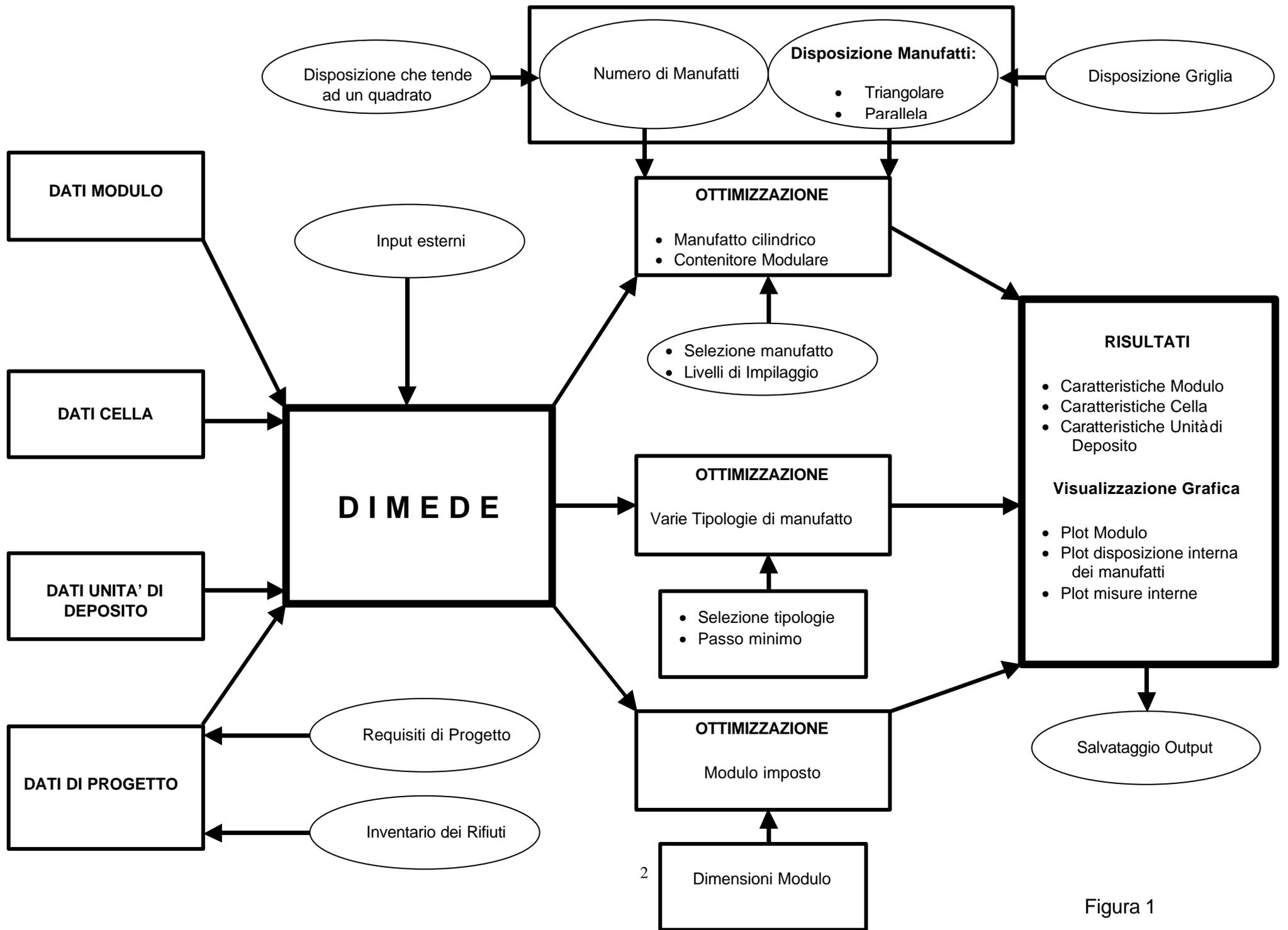


Figura 1

Il calcolo è effettuato imponendo un'unica geometria del modulo per tutte le tipologie di manufatto e l'alloggiamento nel modulo solo di manufatti della stessa tipologia.

Il procedimento da seguire per il calcolo è il seguente:

1. Definizione delle condizioni di calcolo
2. Salvataggio del caso
3. Scelta dei criteri di calcolo
4. Esecuzione
5. Visualizzazione dei risultati.

3 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI CALCOLO

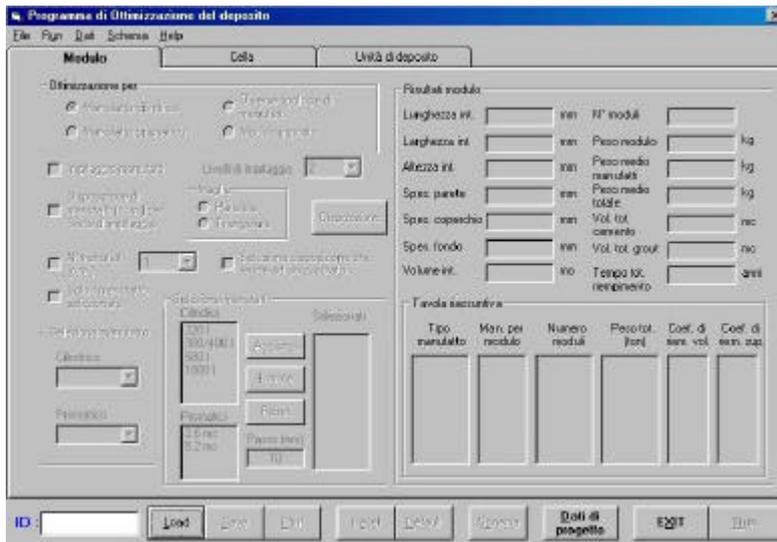


Figura 2

Le operazioni consentite/richieste all'avvio all'utente riguardano esclusivamente la definizione delle condizioni di calcolo: è possibile definire nuovi casi (pulsante *Dati di Progetto*) o caricare le condizioni di calcolo definite per casi precedenti (pulsante *Load*).

La definizione di nuove condizioni di calcolo avviene attraverso la maschera *Dati di Base* lanciata tramite il pulsante *Dati di Progetto* dalla maschera di apertura (Fig.2) o mediante il corrispondente comando contenuto nel Menù a tendina.

La maschera *Dati di Progetto* è aperta sulla finestra *Requisiti di Progetto*, come indicato nella

figura della pagina seguente. I Requisiti di Progetto sono utilizzati da Dime.De. sia come dati di input per la definizione delle dimensioni del Deposito sia come dati di controllo alla fine del calcolo.

3.1 Definizione requisiti di progetto

La finestra (Fig.3) è suddivisa in tre zone distinte. La prima zona è riservata alle caratteristiche che dovrà soddisfare il modulo in calcestruzzo armato, la seconda è riservata alla cella di deposito mentre nella terza sono contenute tutte le altre caratteristiche fisiche e dimensionali che possono essere applicate a tutti gli elementi costituenti il Deposito.

Come indicato in figura, l'utente può modificare il valore della grandezza desiderata inserendo il nuovo valore direttamente nella casella di testo corrispondente. In generale, l'operazione di inserimento dei dati è soggetta ad un controllo immediato. Dime.De. verifica la congruenza del valore inserito con i dati relativi alle altre grandezze e con i dati inerenti i manufatti finali. Nel caso in cui il valore inserito non rispetti le condizioni di controllo, Dime.De. comunica l'errore mediante una finestra di dialogo. La finestra contiene anche le informazioni da seguire per rispettare i controlli.

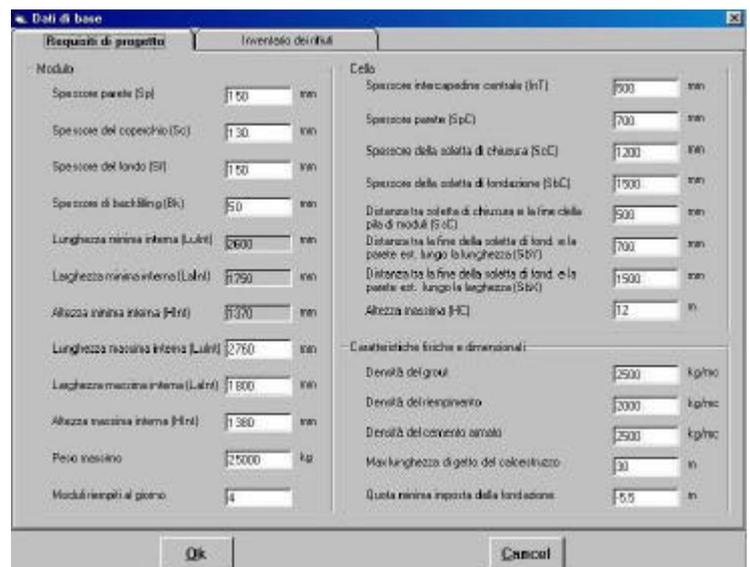


Figura 3

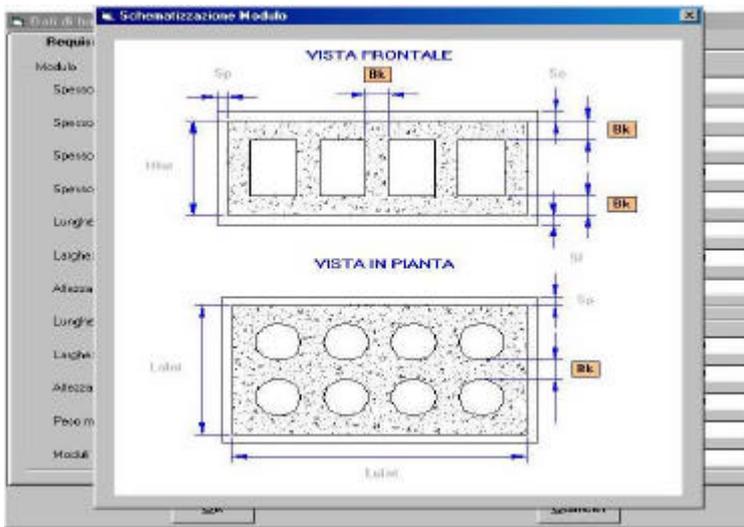


Figura 4

del manufatto più alto. In tal modo è sempre garantito per tutte le tipologie l'alloggiamento nel modulo di almeno un manufatto.

3.2 Definizione dei dati relativi ai manufatti finali

Terminato l'inserimento dei dati, nel modo precedente descritto, l'utente può passare alla finestra *Inventario dei Rifiuti* (Fig.5), per modificare le caratteristiche dei manufatti, o tornare alla maschera principale. In quest'ultimo caso, il passaggio alla maschera principale avviene automaticamente una volta aggiornate in memoria le eventuali modifiche apportate ai requisiti di progetto. L'aggiornamento è effettuato attraverso il tasto *OK*, posizionato nella parte inferiore della maschera.

La finestra *Inventario dei Rifiuti* è divisa in due zone distinte, in relazione alla forma dei manufatti che, in generale, possono essere, cilindrici o prismatici.

Ogni zona è ulteriormente divisa in due. Nella parte sinistra sono visualizzate le caratteristiche del manufatto selezionato nella lista *Tipologie*, mentre nella parte destra è riportata una *Tavola Riassuntiva*, nelle quale sono indicati, per ogni tipologia di manufatto, il numero totale di unità previste ed il volume ad esse corrispondente.

Dime.De. consente all'utente di *Aggiungere* una tipologia di manufatto alla lista, di *Eliminare* una tipologia di manufatto dalla lista e di *Modificare* le caratteristiche di ognuna delle tipologie di manufatto inserite di default nella lista.

3.2.1 Aggiungo manufatto

L'operazione di aggiungere un manufatto alla lista è attivata tramite il pulsante *Aggiungi*. Durante l'inserimento dei dati caratteristici della nuova tipologia di manufatto nei corrispettivi campi, non è possibile effettuare nessun'altra operazione. L'inserimento dei dati avviene semplicemente scrivendo all'interno del campo, una volta selezionato. Solo nel campo *Identificativo* è consentito l'impiego di lettere. Il trasferimento in memoria dei dati caratteristici della nuova tipologia di manufatto è effettuato attraverso il pulsante *Aggiorna*, che risulta l'unico pulsante attivato (Fig.6). Dime.De., prima del trasferimento, verifica che i campi siano tutti correttamente riempiti ed in caso contrario comunica l'utente l'errore attraverso una finestra

Le grandezze indicate possono essere visualizzate per facilitare l'utente nella scelta dei valori da assegnare alle stesse. Per visualizzare la grandezza desiderata è sufficiente effettuare un doppio *click* sull'etichetta della grandezza stessa. Nella finestra di visualizzazione (Fig.4), la grandezza selezionata è in rilievo rispetto alle altre.

Si precisa che le dimensioni minime del modulo sono calcolate automaticamente da Dime.De., in relazione alle caratteristiche geometriche del *manufatto involuppo*, avente per definizione la lunghezza del manufatto più lungo, la larghezza del manufatto più largo e l'altezza

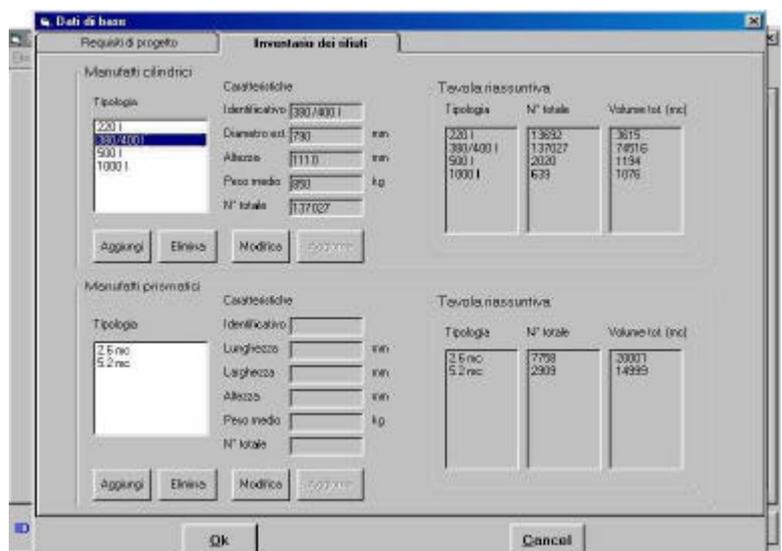


Figura 5

di dialogo. Una volta completato il trasferimento dei dati, la tipologia di manufatto aggiunta viene automaticamente riportata sia nella lista che nella tavola riassuntiva.

3.2.2 Modifica caratteristiche manufatto

Dime.De. consente all'utente di modificare alcune caratteristiche dei manufatti già inseriti nella lista *Tipologie*. In particolare, è possibile modificare il peso medio del manufatto ed il

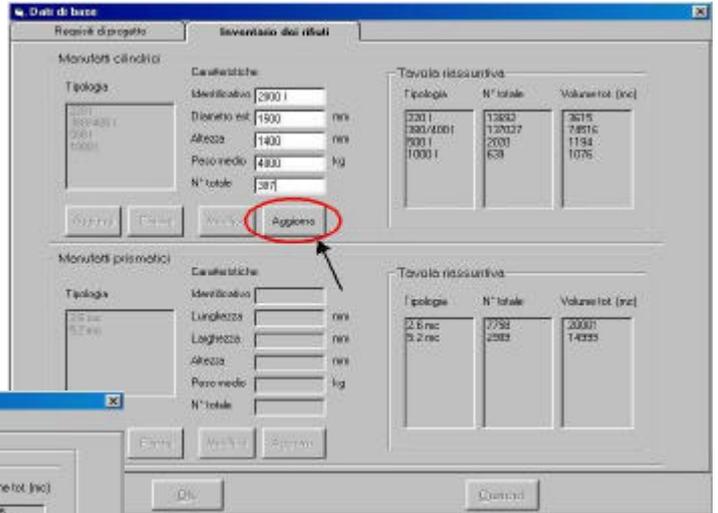


Figura 6

numero di manufatti totali che si prevede saranno prodotti. A tal fine è sufficiente selezionare nella lista *Tipologie* il manufatto di cui si desidera modificare le caratteristiche e successivamente premere il pulsante *Modifica* (Fig.7). Questa operazione disabiliterà tutte le funzioni attive della finestra tranne i campi *Peso Medio* e *N° totale* relative alla tipologie di manufatto selezionata. Una volta effettuate le modifiche il trasferimento dei nuovi valori in memoria è effettuato attraverso il pulsante *Aggiorna*.

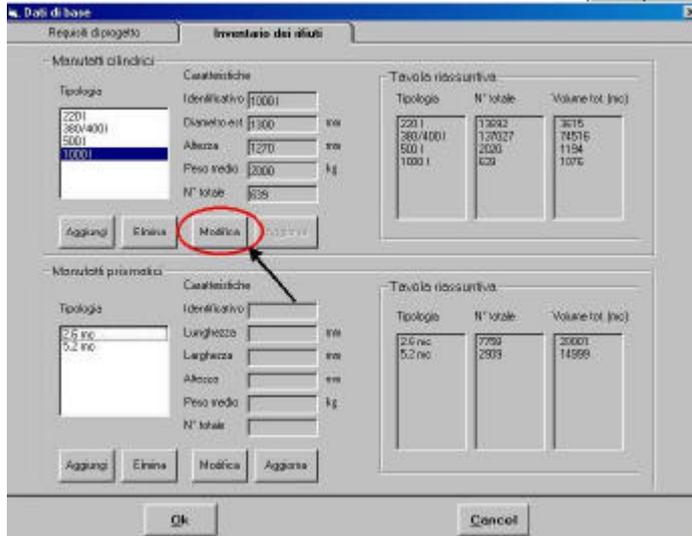


Figura 7

Una volta trasferiti in memoria, i nuovi valori vengono automaticamente riportati nella *Tavola riassuntiva*, come nel caso dell'operazione di inserimento di un nuovo manufatto.

3.2.3 Elimina manufatto

L'eliminazione di una tipologia di manufatto dalla lista *Tipologie* avviene semplicemente selezionando il manufatto nella lista e premendo il pulsante *Elimina* (Fig.8). Nel corso della stessa operazione sarà aggiornata anche la *Tavola riassuntiva*, dalla quale sarà eliminata la tipologia di manufatto considerata. Durante questa operazione rimarrà perciò disabilitato il pulsante *Aggiorna*.

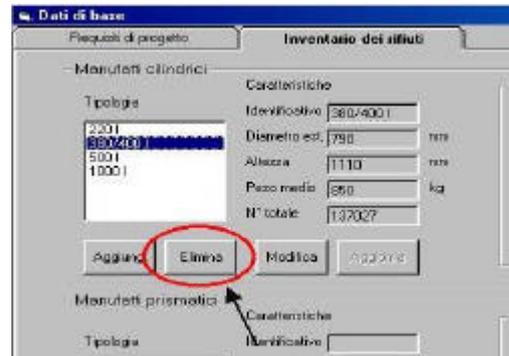


Figura 8

3.3 Caricamento di caso dalla memoria (pulsanti Load e Default)

Il caricamento delle condizioni di progetto definite per casi precedenti e conservate in memoria è effettuato attraverso il tasto *Load* (Fig.9). L'utente potrà richiamare il caso desiderato dalla memoria operando dalla finestra di dialogo, attivata dal pulsante *Load*, secondo le procedure di scorrimento delle cartelle e dei file tipiche di Windows. Una volta individuato il file desiderato, il caricamento dei dati sarà effettuato automaticamente tramite il pulsante *Carica* sulla finestra. Oltre all'operazione di caricamento, tale pulsante provvede alla chiusura della finestra di dialogo ed al ritorno alla maschera principale. Una volta tornati sulla finestra principale il nome del file caricato sarà riportato sul campo ID della maschera.

Il pulsante *Default* carica i dati visualizzati all'apertura di Dime.De.. I dati in questione sono quelli definiti per il Deposito da ENEA Task Force per il Sito.

Nel caso in cui non si desidera salvare le modifiche apportate ai dati di input è sufficiente premere il pulsante *Reset*. Questa operazione ripristina le condizioni dell'ultimo salvataggio.

4 ESECUZIONE

Per l'esecuzione del programma (tasto *RUN*) l'utente deve definire:

1. il criterio di calcolo per la definizione delle caratteristiche del modulo;
2. la disposizione dei moduli nelle celle di unità;
3. la disposizione delle celle di unità nell'Unità di deposito, il numero delle unità di deposito che costituiranno un settore ed il numero di settori in cui risulterà suddiviso il deposito.

4.1 Criteri di calcolo

Dime.De. consente all'utente di definire le caratteristiche del modulo (dimensioni e numero di unità necessarie) secondo quattro diversi criteri di calcolo:

- ottimizzazione delle dimensioni in relazione ad una specifica tipologia di manufatto cilindrico;
- ottimizzazione delle dimensioni in relazione ad una specifica tipologia di manufatto prismatico;
- ottimizzazione delle dimensioni in relazione a tutte le tipologie di manufatto;
- a modulo imposto.

Questa varietà di opzioni costituisce una delle caratteristiche di maggiore flessibilità di Dime.De. sotto il profilo progettuale.

4.1.1 Ottimizzazione per manufatto cilindrico

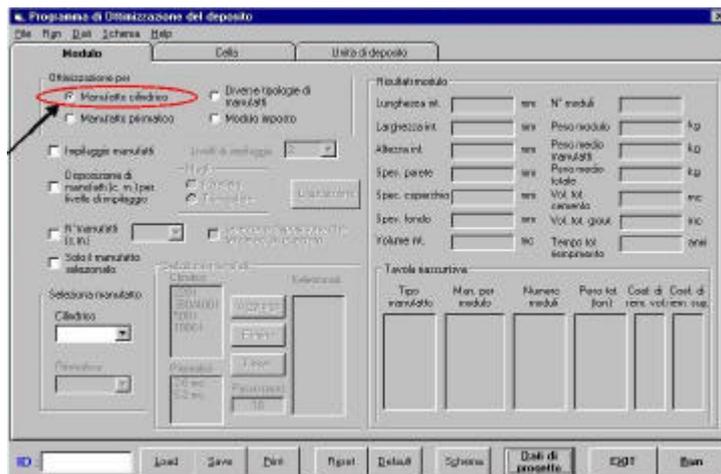


Figura 10

Il criterio *Ottimizzazione per manufatto cilindrico* (Fig.10) definisce le dimensioni del modulo in relazione alla disposizione scelta per una particolare tipologia di manufatto cilindrico. Tale scelta è particolarmente indicata nel caso in cui una tipologia di manufatti risulti nettamente preponderante rispetto alle altre per numero di unità e volume finale da stoccare.

In generale, Dime.De. determina le dimensioni del modulo considerando sia la disposizione scelta dall'utente per il manufatto selezionato sia il fatto che il modulo deve contenere il manufatto involuppo.

Come indicato nella figura nella pagina precedente, una volta selezionato il criterio di calcolo, rimangono attivi sulla finestra solo alcuni campi necessari per la definizione della tipologia di manufatto selezionata e della disposizione dello stesso all'interno del modulo.

In generale, l'utente deve definire: la tipologia di manufatto, i livelli di impilaggio ed una tra la disposizione dei manufatti nei moduli od il numero dei manufatti da prevedere per modulo. È inoltre

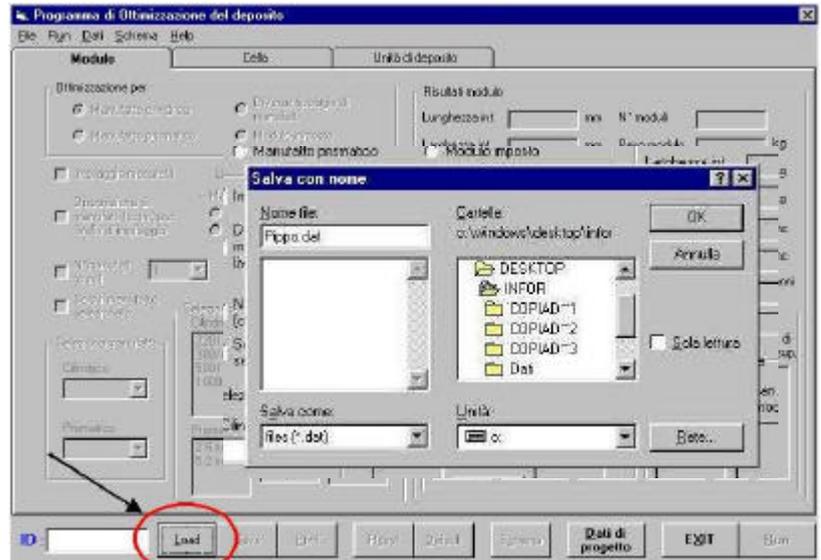


Figura 9

possibile calcolare le dimensioni del modulo senza tenere conto del manufatto involuppo. Questa opzione consente all'utente di definire moduli differenti per ognuna delle tipologie di manufatto presenti.

Dime.De. calcola l'altezza del modulo considerando per default un solo livello di impilaggio. È comunque consentito all'utente l'impilaggio dei manufatti nel

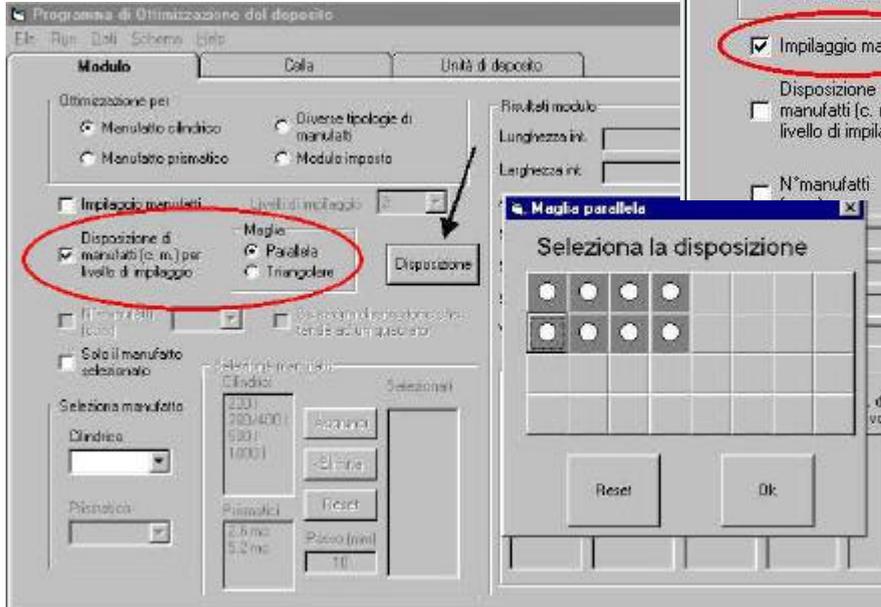


Figura 12



Figura 11

modulo fino a tre livelli.

A tal fine l'utente deve abilitare l'opzione *Impilaggio manufatti* e definire le file di manufatti da sovrapporre attraverso il menù a tendina nel campo *Livelli di impilaggio* (Fig.11). Tale campo è per default non attivo.

Nel caso in cui l'utente desideri definire la disposizione dei manufatti

nel modulo, deve scegliere l'opzione *Disposizione di manufatti* (Fig.12). Tale opzione abilita i campi *Maglia* e *Disposizione*, che per default sono non attivi, e disabilita il campo *N° manufatti*.

Nel campo *Maglia* l'utente definisce la maglia con cui i manufatti debbono essere disposti nel modulo. Dime.De. consente di scegliere tra una maglia parallela ed una triangolare equilatera. Per default Dime.De. seleziona la maglia parallela.

Il pulsante *Disposizione* attiva la finestra per la selezione delle posizioni dei manufatti nel modulo (Fig.13). Dime.De. consente di selezionare al massimo 16 posizioni. La posizione del manufatto è selezionata attraverso un *click* sulla maglia. Dopo il click la posizione scelta rimane evidenziata.

Il *pulsante OK* aggiorna le informazioni sulla disposizione e chiude la finestra in esame. Il *pulsante Reset* cancella tutte le posizioni selezionate. La chiusura della finestra tramite il pulsante proprio della stessa riporta alla maschera principale senza aggiornare in memoria la disposizione selezionata.

Dime.De. definisce le dimensioni del modulo utilizzando come riferimento le posizioni estremali nella disposizione scelta dall'utente (Fig.13).

Le dimensioni del modulo sono definite utilizzando delle semplici relazioni che le legano al diametro del manufatto considerato ed al valore del backfilling (riempimento con inerte) definito nei requisiti di progetto.

L'attivazione del campo *N° di manufatti* è consigliata nel caso in cui l'utente desideri imporre al programma esclusivamente il numero di manufatti da alloggiare in un modulo senza vincolare i manufatti ad una disposizione particolare. Anche in questo caso l'attivazione del campo disabilita tutte le funzioni incompatibili con la funzione in esame.

Per quanto concerne il numero di manufatti, l'utente può selezionare il valore desiderato nella lista visibile tramite il menù a tendina. La lista non contiene i numeri primi dispari compresi tra 1 e 16. Per alcuni numeri sono possibili più disposizioni, come il numero 12 selezionato nell'esempio (Fig.14). Nel caso particolare dell'esempio è possibile disporre i manufatti su due file (disposizione 2x6) o su tre file (disposizione 3x4). L'utente può imporre a Dime.De. la soluzione da seguire attivando il campo *Selezione*



Figura 13

disposizione che tende ad un quadrato. Nel caso dell'esempio (12), la soluzione scelta dal programma è quella corrispondente alla disposizione 3x4. Nei casi in cui non sono possibili disposizioni su più di due file il campo in esame non è abilitato. La maglia con cui sono disposti i manufatti nel modulo è scelta automaticamente dal programma in modo da minimizzare il volume totale da immagazzinare.



Figura 14



Figura 15

volta definite le dimensioni del modulo secondo le impostazioni dell'utente, verifica durante l'esecuzione che lo stesso sia in grado di alloggiare almeno un manufatto involuppo.

Nel caso in cui tale condizione sia soddisfatta

Dime.De. provvede a definire il numero di moduli necessari a contenere tutti i manufatti delle altre tipologie lavorando secondo lo schema definito a *modulo imposto* (vedi § 4.1.4).

In caso contrario, Dime.De. aggiornerà le dimensioni del modulo in funzione delle dimensioni del manufatto involuppo e ricalcolerà, secondo lo schema del modulo imposto, anche la disposizione della tipologia di manufatto selezionata al fine di garantire sempre il massimo riempimento del modulo. In questo caso, l'utente sarà informato delle variazioni apportate sulle dimensioni del modulo attraverso finestre di dialogo, nelle quali si avverte che anche la disposizione scelta potrebbe essere variata (Fig.16).

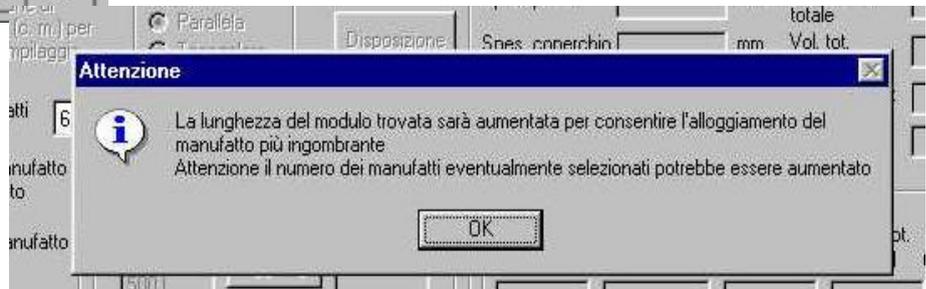


Figura 16

4.1.2 Ottimizzazione per manufatto prismatico

Il criterio *Ottimizzazione per manufatto prismatico* definisce le dimensioni del modulo in relazione alla disposizione scelta per una particolare tipologia di manufatto cilindrico. Tale scelta è particolarmente indicata nel caso in cui una tipologia di manufatti cilindrici risulti nettamente preponderante rispetto alle altre per numero di unità e volume finale da stoccare.

Per quanto riguarda le modalità di definizione della disposizione dei manufatti nel modulo, vale quanto riportato nel paragrafo precedente per i manufatti cilindrici. L'unica differenza consiste nel fatto che per i manufatti prismatici non è possibile prevedere la disposizione secondo la maglia triangolare equilatera.

4.1.3 Ottimizzazione per varie tipologie di manufatto

Il criterio *Ottimizzazione per varie tipologie di manufatto* definisce le dimensioni del modulo in relazione alle caratteristiche di più manufatti. In generale, l'utente può riferire il calcolo all'intero spettro delle tipologie dei manufatti. Tale criterio è indicato per individuare la soluzione che, in relazione alle condizioni di calcolo, minimizza il prodotto: (Numero di moduli)x(Volume esterno del modulo). Il criterio in esame porta alla definizione di un unico modulo per tutte le tipologie di manufatto.

Come indicato nella figura, una volta selezionato il criterio di calcolo rimangono attivi sulla finestra principale esclusivamente i campi contenuti all'interno della zona *Selezione manufatti*.

La zona *Selezione manufatti* contiene tre liste. Nelle due liste denominate *Cilindrici* e *Prismatici* sono elencate tutte le tipologie di manufatto definite nella maschera *Dati di base*. Nella terza lista vengono riportate le tipologie di manufatto selezionate alle quali è riferito il calcolo (Fig.17).

Per trasferire una tipologia di manufatto nella lista *Selezionati* è sufficiente selezionare il manufatto nella lista di appartenenza (*Cilindrici* o *Prismatici*) e premere il *pulsante Aggiungi*.

Per eliminare un manufatto dalla lista *Selezionati* è necessario selezionare il manufatto dalla lista e premere il *pulsante Elimina*. Il *pulsante Reset* consente invece di eliminare tutti i manufatti contenuti nella lista *Selezionati*.

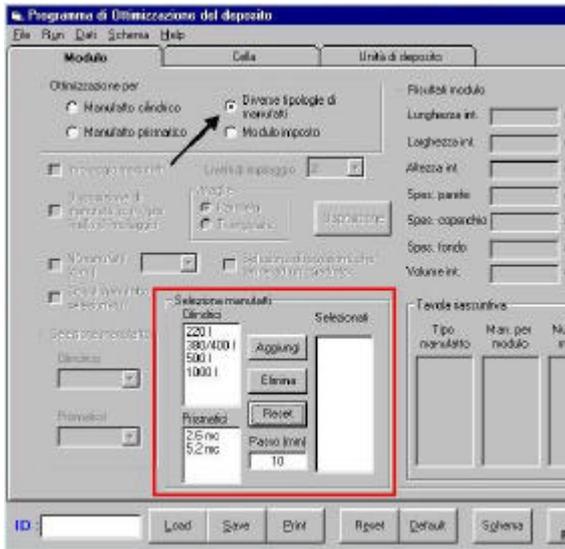


Figura 17

Il criterio in esame individua le dimensioni del modulo che, tra quelle massime e minime consentite, minimizzano il volume totale dei moduli da mettere a dimora. La prima configurazione che Dime.De. analizza è quella riferita al modulo delle dimensioni massime. L'ultima configurazione è invece rappresentata dal modulo di dimensioni minime. Nel mezzo vengono analizzati tutti i moduli che si ottengono diminuendo una delle dimensioni relative al modulo precedente di una quantità fissa. Tale quantità è indicata nel campo *Passo*. L'utente può variare il valore di tale grandezza.

Per ognuno dei moduli analizzati Dime.De. calcola il valore del prodotto (Numero di moduli)x(Volume esterno del modulo) e lo confronta con il minimo valore fino ad allora calcolato. In memoria Dime.De. mantiene, oltre al valore minimo del prodotto precedentemente indicato anche le caratteristiche del modulo a cui quel valore è riferito.

4.1.4 A modulo imposto

Il criterio di calcolo definito *A modulo imposto* determina le caratteristiche del Sito Finale imponendo le dimensioni del modulo. Tale scelta è indicata nel caso in cui si prevede l'impiego di moduli commerciali (a dimensioni imposte).

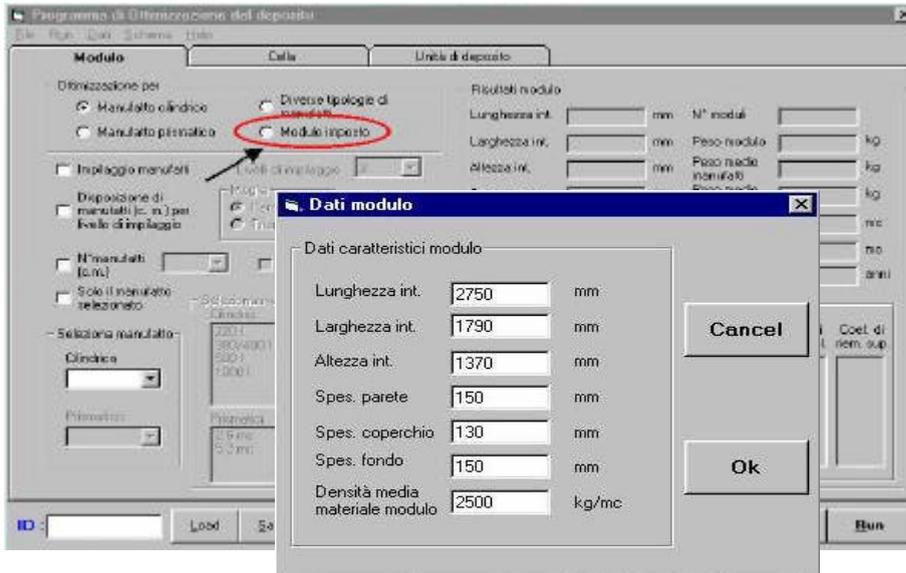


Figura 18

La scelta del criterio in esame abilita direttamente la finestra *Dati modulo* (Fig.18), attraverso la quale l'utente trasferisce al programma tutte le informazioni relative al modulo da utilizzare nei calcoli. Oltre alle dimensioni geometriche, l'utente ha la possibilità di definire la densità media del materiale con cui è realizzato il modulo. Questo consente l'impiego di materiali diversi dal calcestruzzo.

Il pulsante OK aggiorna in memoria i valori delle dimensioni del modulo e chiude la finestra. Per tornare alla maschera principale senza aggiornare i valori è sufficiente premere il pulsante *Cancel* o chiudere la finestra tramite il pulsante di chiusura proprio della maschera. I valori di *default* per le grandezze visualizzate sulla finestra sono quelli definiti da *Enea Tasks Force per il Sito*.

Prima dell'aggiornamento dei dati, Dime.De. effettua una serie di controlli per verificare la congruenza dei dati inseriti con quelli relativi ai requisiti di progetto. In particolare, si verifica che le dimensioni del modulo siano comprese tra i valori minimi e massimi consentiti. Dime.De. effettua inoltre una stima del peso del modulo pieno. Nel caso in cui il peso stimato dovesse essere superiore al valore imposto nei requisiti di progetto, si attiva una finestra di dialogo che comunica all'utente la possibilità che la configurazione scelta non rispetti il limite di peso imposto per il modulo pieno. In questo caso, l'utente ha la possibilità di ridefinire le dimensioni del modulo o di continuare con i valori inseriti.

Per quanto riguarda il calcolo, Dime.De. deve determinare il numero di manufatti di ogni tipologia che il modulo imposto può contenere. A tal fine, il codice opera considerando inizialmente nel modulo un solo manufatto e successivamente incrementando il numero di unità. Il processo si arresta quando si superano le dimensioni del modulo. Nel calcolo, il codice considera per la disposizione sia la maglia parallela che la maglia triangolare equilatera, scegliendo quella che consente di alloggiare più unità di manufatti della stessa tipologia. A parità di elementi il codice sceglie la disposizione a maglia parallela.

4.2 Definizione delle caratteristiche delle Celle di Unità

Per l'esecuzione del calcolo è necessario che l'utente definisca al programma la disposizione dei moduli nelle Celle di Unità. A tal fine è sufficiente definire il numero di moduli sulla base ed i livelli di impilaggio.

La definizione di tali parametri avviene tramite la finestra *Cella* della maschera principale (Fig.19). Quando tale finestra è attiva, tutti i comandi generali (*Load, Save, Run, etc...*) del programma sono disabilitati.

La finestra *Cella* è suddivisa in tre zone distinte. La zona relativa alla definizione della disposizione dei moduli nella cella è evidenziata rispetto alle altre due, nelle quali sono riportati i risultati del calcolo. I campi dove l'utente può definire la disposizione hanno lo sfondo bianco. Di default è caricata la disposizione definita da ENEA Task Force per il Sito.



Figura 19

4.3 Definizione delle caratteristiche delle Unità di Deposito

Analogamente a quanto detto per le celle di unità, l'utente deve definire prima dell'esecuzione del programma le caratteristiche delle Unità di deposito. In questo caso vanno definiti: il numero di celle per unità di deposito, il numero di settori in cui è suddiviso il deposito, la distanza tra le celle nell'unità di deposito, la distanza tra le unità di deposito nel settore ed infine la distanza tra i settori.

La definizione di tali parametri avviene tramite la finestra *Unità* della maschera principale (Fig.20). Quando tale finestra è attiva, tutti i comandi generali (*Load, Save, Run, etc...*) del programma sono disabilitati.

La finestra *Unità* è suddivisa in quattro zone distinte. La zona relativa alla definizione della caratteristiche precedentemente indicate è evidenziata

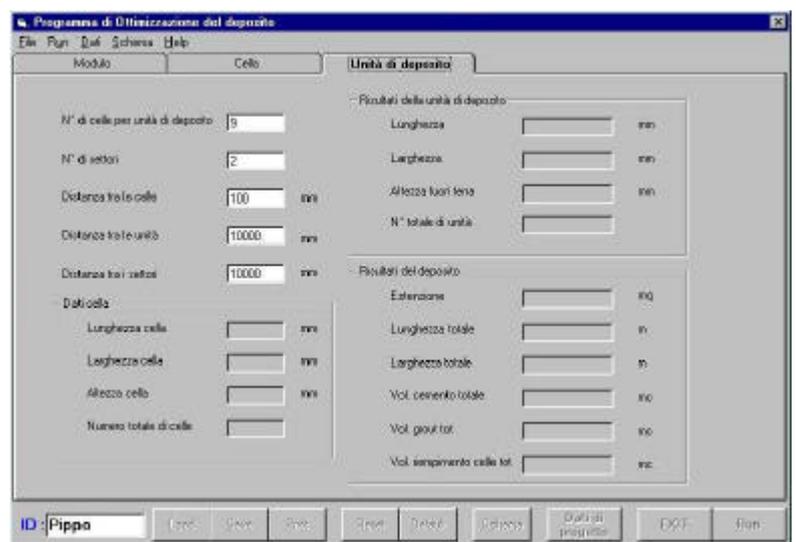


Figura 20

rispetto alle altre tre, nelle quali sono riportati i risultati del calcolo. I campi dove l'utente può definire i valori per le grandezze in esame hanno lo sfondo bianco. Di default sono caricati i valori definiti da ENEA Task Force per il Sito.

5 VISUALIZZAZIONE DEI RISULTATI

I risultati prodotti dal programma, per quanto concerne i moduli, le celle di unità e le unità di deposito, vengono visualizzati separatamente sulle tre finestre della maschera principale. Su ognuna delle finestre, i risultati sono riportati nella parte destra. I risultati relativi alle caratteristiche geometriche e fisiche del modulo sono visualizzati sulla finestra *Modulo* (Fig.21).

Sono riportati: le caratteristiche geometriche del modulo (lunghezza interna, larghezza interna, altezza interna, spessore di parete, spessore del coperchio e spessore del fondo); il volume interno del modulo; il numero totale di moduli, con quelle caratteristiche geometriche, necessari a contenere tutti i manufatti; il peso vuoto del modulo; il peso medio dei manufatti contenuti nel modulo (il valore riportato è la media aritmetica dei pesi

relativi alle singole tipologie di manufatto ottenuti come il prodotto tra il numero di manufatti contenuti in un modulo ed il peso del singolo manufatto); il peso medio del modulo pieno (il valore riportato è la media aritmetica dei pesi del modulo pieno relativi alle singole tipologie di manufatto ottenuti come la somma tra il peso del modulo, il peso dei manufatti contenuti ed il peso della malta – grout - di riempimento); il volume totale di cemento necessario a produrre tutti i moduli; il volume totale della malta di riempimento utilizzata per immobilizzare i manufatti; il tempo stimato per il riempimento e la chiusura i tutti i moduli.

Sotto i risultati generali precedentemente elencati, è riportata una tavola riassuntiva nella quale sono visualizzati i risultati relativi alle singole tipologie di manufatto. Per ogni tipologia viene visualizzato: il numero di manufatti contenuti in un modulo; il numero totali di moduli necessari a contenere tutti i manufatti di quella tipologia; il peso totale del modulo; il coefficiente di riempimento volumetrico, definito come il rapporto tra il volume totale esterno dei manufatti contenuti nel modulo ed il volume interno del modulo; il coefficiente di occupazione della superficie di base, definito come il rapporto tra la superficie totale di base dei manufatti contenuti nel modulo e la superficie di base del modulo stesso.

I risultati relativi alle caratteristiche geometriche e fisiche della cella di unità sono visualizzati sulla finestra *Cella* (Fig.22). Sono riportati: le caratteristiche geometriche della cella (lunghezza interna, larghezza interna, altezza interna, lunghezza basamento, larghezza basamento e altezza totale cella); il volume interno della cella di unità; il volume totale dei moduli contenuti nella cella di unità; il volume del materiale di riempimento necessario per ogni cella di unità; il volume di cemento necessario per la realizzazione di una cella di unità; il volume di cemento totale necessario

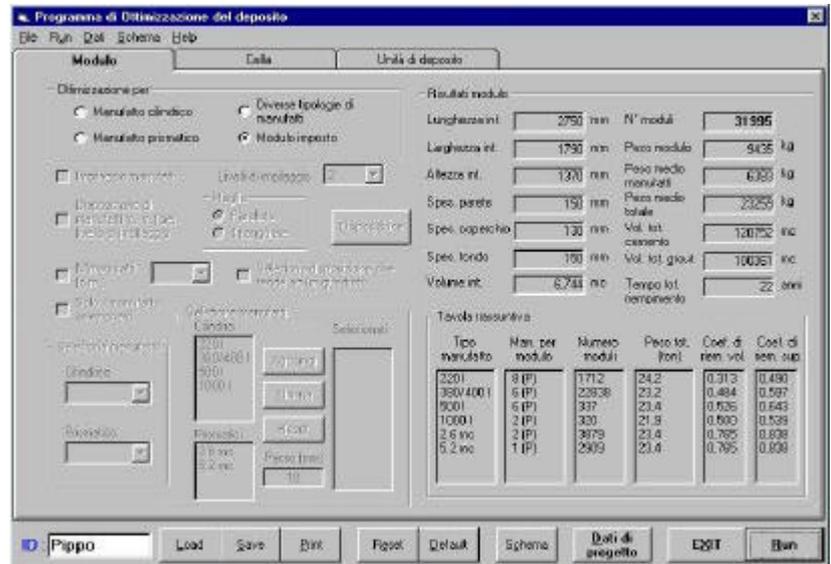


Figura 21

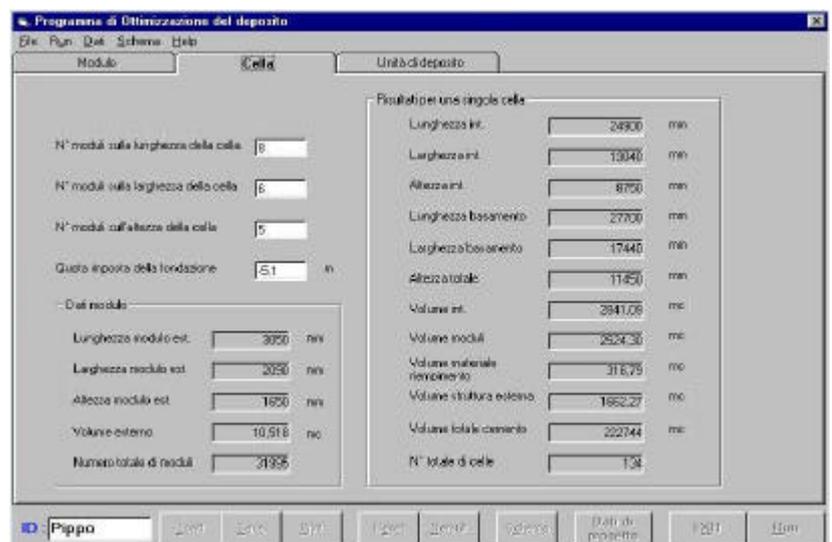


Figura 22

per la realizzazione di tutti i moduli e di tutte le celle di unità; il numero di celle di unità necessarie per contenere tutti i moduli previsti.

Nella parte in basso a sinistra della finestra sono visualizzati i dati del modulo che interessano nella definizione della cella. I dati visualizzati sono: le dimensioni esterne del modulo; il volume esterno del modulo; il numero totale di moduli previsti.

I risultati relativi alle caratteristiche geometriche e fisiche dell'unità di deposito sono visualizzati sulla finestra *Unità di Deposito* (Fig.23). Sono riportati: la lunghezza dell'unità; la larghezza dell'unità; l'altezza fuori terra dell'unità; il numero totale dell'unità previste.

Sotto i dati relativi alla singola unità di deposito, sono visualizzati i risultati dell'intero deposito. Sono riportati: l'estensione del deposito; la lunghezza totale del deposito; la larghezza totale del deposito; il volume totale di cemento impiegato; il volume totale di malta di riempimento impiegata per i moduli; il volume totale del materiale di riempimento impiegata per le celle di unità; Nella parte in basso a sinistra della finestra sono infine visualizzati i dati della cella di unità che interessano nella definizione dell'unità di deposito. I dati visualizzati sono: le dimensioni esterne della cella; il numero totale di celle previste.

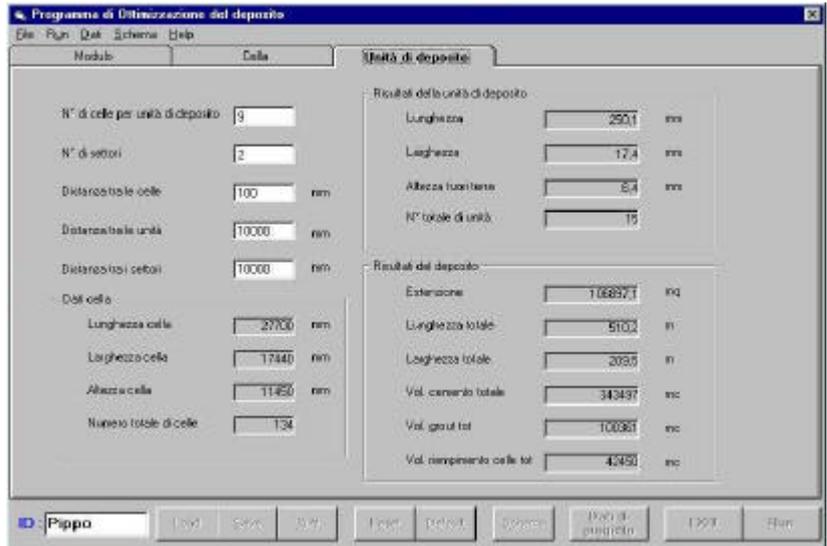


Figura 23

5.1 Visualizzazione degli schemi di riempimento del modulo

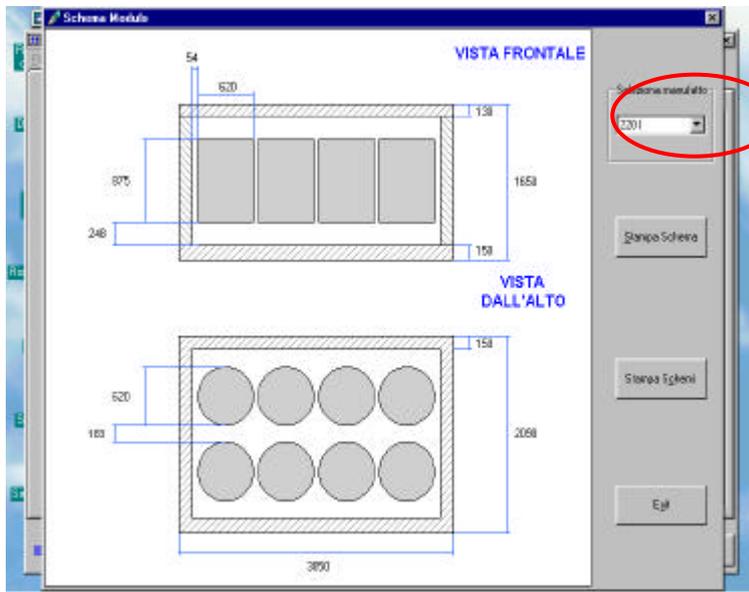


Figura 24

Una volta eseguito un calcolo di ottimizzazione, si ha la possibilità di visualizzare la schematizzazione del modulo ottenuto, attraverso la scelta "schema" che può essere effettuata tramite pulsante o menù.

Attraverso questa funzione, viene attivata una finestra, che visualizza la schematizzazione del modulo, presentandone la vista frontale e la vista dall'alto, diverse grandezze fondamentali e la disposizione interna del manufatto selezionato (Fig.24). La selezione del manufatto si effettua attraverso una casella di selezione posizionata in alto a destra della finestra. Nel caso di disposizioni parallele, i manufatti vengono, in maniera omogenea, distribuiti lungo la lunghezza e la larghezza del modulo, sempre nel rispetto dei limiti di minimo valore di

backfilling. Nel caso di maglia triangolare, invece, i manufatti vengono disposti in una maglia triangolare con una distanza tra i manufatti che risulta essere uguale al valore minimo di backfilling; la disposizione risultante viene centrata nel modulo per aumentare l'efficacia dello schermaggio e minimizzare eventuali perdite contaminanti. Attraverso le grandezze riportate si può facilmente ricostruire la disposizione interna visualizzata per il manufatto selezionato ed inoltre si ha la possibilità di stampare la schematizzazione del modulo contenente il manufatto corrente (attraverso il pulsante *Stampa Schema*) oppure quelli relativi a tutti i manufatti (pulsante *Stampa Schemi*). In basso a destra si ha, infine, un pulsante exit per poter ritornare al menù principale.